



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 36 867 A 1**

51 Int. Cl.7:
B 01 J 19/00
H 01 L 21/306
G 03 F 7/36

21 Aktenzeichen: 100 36 867.0
22 Anmeldetag: 28. 7. 2000
43 Offenlegungstag: 3. 5. 2001

DE 100 36 867 A 1

30 Unionspriorität:
99-216675 30. 07. 1999 JP
99-323869 15. 11. 1999 JP
99-354800 14. 12. 1999 JP
00-982 06. 01. 2000 JP
00-15816 25. 01. 2000 JP
00-119249 20. 04. 2000 JP

71 Anmelder:
Tokyo Electron Ltd., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:
HOFFMANN · EITLÉ, 81925 München

72 Erfinder:
Toshima, Takayuki, Yamanashi, JP; Ueno, Kinya,
Nirasaki, Yamanashi, JP; Yamasaka, Miyako,
Yamanashi, JP; Tsutsumi, Hideyuki, Kawasaki,
Kanagawa, JP; Iino, Tadashi, Nirasaki, Yamanashi,
JP; Kamikawa, Yuji, Kumamoto, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Substrat-Bearbeitungsverfahren und -vorrichtung

57 Halbleiterwafer werden durch Anordnung der Halbleiterwafer in einem Bearbeitungsbehälter, Ausbilden einer Reinwasserschicht an den Oberflächen der Wafer, Ausbilden einer ozonhaltigen Wasserschicht durch Auflösen von Ozongas in der Reinwasserschicht und Entfernen von Resistschichten, die an den Wafern ausgebildet sind, mittels der ozonhaltigen Wasserschicht gereinigt. Die Reinwasserschicht wird durch Kondensieren von Dampf an den Oberflächen der Wafer ausgebildet. Die Resistschichten, die an den Oberflächen der Wafer ausgebildet sind, werden auch unter Verwendung von Hydroxylradikalen entfernt, die durch Wechselwirkung zwischen Dampf und Ozongas erzeugt werden, die in den Bearbeitungsbehälter zugeführt werden. Somit können die Resistschichten höchstwirksam entfernt werden.

DE 100 36 867 A 1

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Substrat-Bearbeitungsverfahren und eine Substrat-Bearbeitungsvorrichtung zum Bearbeiten von Substraten, wie z. B. Halbleiterwafern, beispielsweise durch einen Reinigungsvorgang.

Beschreibung des Standes der Technik

Wenn ein Halbleiterwafer beispielsweise durch einen photolithographischen Vorgang bearbeitet wird, wird eine Resistschicht an einer Oberfläche des Wafers ausgebildet, die Oberfläche des Wafers, die mit der Resistschicht überzogen ist, wird Licht in einem gewünschten Muster ausgesetzt, und der Wafer wird einem Entwicklungsvorgang unterworfen, um das Bild des Musters zu entwickeln, und dann werden unnötige Abschnitte der Resistschicht entfernt.

Eine Reinigungsvorrichtung wird zum Entfernen der unnötigen Abschnitte der Resistschicht verwendet. Die Reinigungsvorrichtung taucht den Wafer in einen Reinigungstank mit einer chemischen Flüssigkeit namens SPM (eine aus H_2SO_4/H_2O_2 gemischte Flüssigkeit) ein, um die Abschnitte der Resistschicht zu entfernen. Angesichts des Umweltschutzes wird gewünscht, die Resistschicht unter Verwendung von, anstelle einer chemischen Flüssigkeit, ozonhaltigem Wasser zu entfernen, das leicht durch einen Flüssigkeitsentsorgungsvorgang entsorgt werden kann. Wenn ozonhaltiges Wasser verwendet wird, wird der Wafer in einen Reinigungstank mit ozonhaltigem Wasser eingetaucht, und das Resist, das die Resistschicht ausbildet, wird in Kohlendioxid, Wasser, usw. durch eine Oxidationswechselwirkung zwischen Sauerstoffradikalen, die in dem ozonhaltigen Wasser enthalten sind, und der Resistschicht zersetzt.

Normalerweise wird ozonhaltiges Wasser durch Auflösen eines hochkonzentrierten Ozongases in Reinwasser durch Einblasen vorbereitet. Das Ozon des ozonhaltigen Wassers, das in dem Reinigungstank enthalten ist, entweicht von dem ozonhaltigen Wasser, und die Ozonkonzentration des ozonhaltigen Wassers verringert sich allmählich mit der Zeit. Da die Reinigungsfähigkeit des ozonhaltigen Wassers von seiner Ozonkonzentration abhängt, verringert sich die Reinigungsfähigkeit des ozonhaltigen Wassers, wenn sich die Ozonkonzentration verringert, und das ozonhaltige Wasser mit einer unzureichenden Ozonkonzentration ist oftmals nicht in der Lage, die Resistschicht zufriedenstellend zu entfernen. Da die Wechselwirkungsrate zwischen dem Ozon und der Resistschicht sehr hoch ist, kann nur unzureichendes Ozon zu der Oberfläche der Resistschicht zugeführt werden, wenn der Wafer lediglich in das ozonhaltige Wasser eingetaucht wird, und somit kann die Wechselwirkung zwischen dem Ozon und der Resistschicht nicht mit einer hohen Rate durchgeführt werden. Die Wechselwirkung zwischen Ozon und der Resistschicht muss bei einer hohen Temperatur durchgeführt werden. Deshalb wird in manchen Fällen ozonhaltiges Wasser mit hoher Temperatur durch Auflösen von Ozon in Reinwasser mit beispielsweise $80^\circ C$ durch Einblasen vorbereitet. Da jedoch die Lösbarkeit von einem Gas in Reinwasser bei einer hohen Temperatur gering ist, kann ozonhaltiges Wasser mit hoher Ozonkonzentration nicht erzeugt werden, und somit kann die Wechselwirkung zwischen dem Ozon und der Resistschicht nicht bei einer hohen Reaktionsrate erreicht werden.

Demzufolge ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Substrat-Bearbeitungsverfahren und eine Sub-

strat-Bearbeitungsvorrichtung zu schaffen, die in der Lage sind, eine hohe Bearbeitungsfähigkeit bei der Bearbeitung von Substraten auszuüben.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Um die Aufgabe zu lösen, schafft die vorliegende Erfindung ein Substrat-Bearbeitungsverfahren mit folgenden Schritten: Anordnen eines Substrats in einem Bearbeitungsbehälter; Ausbilden einer Schicht eines Lösungsmittels über einer Oberfläche des Substrats; und Auflösen eines Betriebsgases in der Schicht des Lösungsmittels.

Um die Aufgabe zu lösen, schafft die vorliegende Erfindung ferner ein Substrat-Bearbeitungsverfahren mit folgenden Schritten: Anordnen eines Substrats in einem Bearbeitungsbehälter; Zuführen eines Dampfes eines Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter; Zuführen eines Betriebs- oder Bearbeitungsgases in den Bearbeitungsbehälter; Erzeugen einer reaktionsfähigen Substanz durch Wechselwirkung zwischen dem Dampf des Lösungsmittels und dem Betriebsgas; und Bearbeiten des Substrats mit der reaktionsfähigen Substanz.

Der Schritt des Bearbeitens des Wafers mit der reaktionsfähigen Substanz kann einen Schritt der Ausbildung einer Schicht des Lösungsmittels über den Oberflächen des Substrats und einen Schritt des AuflöSENS des Betriebsgases in der Flüssigkeitsschicht aufweisen.

Der Schritt der Erzeugung der reaktionsfähigen Substanz durch Wechselwirkung zwischen dem Dampf des Lösungsmittels und dem Betriebsgas kann ein Schritt der Ausbildung einer molekularen Schicht einer Mischung von Molekülen des Lösungsmittels und denjenigen des Betriebsgases sein.

Die reaktionsfähige Substanz enthält Atome, Moleküle und Radikale, die reaktionsfähige Substanz, die in einer Arbeitskammer erzeugt wird, wird unmittelbar für die Bearbeitung des Substrats verwendet, bevor die reaktionsfähige Substanz verschwindet, und somit ist die reaktionsfähige Substanz in der Lage, eine hohe Bearbeitungsfähigkeit auszuüben. Wenn dieses Substrat-Bearbeitungsverfahren, das die reaktionsfähige Substanz verwendet, beispielsweise zum Entfernen einer Resistschicht verwendet wird, die an Substraten ausgebildet ist, kann die Resistschicht durch Hydroxylradikale in geeigneter Weise in wasserlösliche Schichten umgewandelt werden, die durch Wechselwirkung zwischen Dampf, d. h. einem Lösungsmittel, und Ozongas, d. h. einem Betriebsgas, erzeugt werden. Das Betriebsgas kann ein beliebiges geeignetes Gas außer Ozongas sein, z. B. Chlorgas, Fluorgas, Wasserstoffgas, Chlorgas mit reaktionsfähigen Radikalen, Fluorgas mit Radikalen und Wasserstoffgas mit Radikalen.

Um die Aufgabe zu lösen, schafft die vorliegende Erfindung ferner eine Substrat-Bearbeitungsvorrichtung mit einem Bearbeitungsbehälter, der eine Arbeitskammer definiert, in der Substrate bearbeitet werden, einem Betriebsgas-Zuführbereich zum Zuführen eines Betriebsgases in die Arbeitskammer in dem Bearbeitungsbehälter, einem Lösungsmitteldampf-Zuführbereich zum Zuführen eines Dampfes eines Lösungsmittels in die Arbeitskammer des Bearbeitungsbehälters, und einem Substrat-Haltelement zum Halten von Substraten in der Arbeitskammer in dem Bearbeitungsbehälter.

Wünschenswerterweise weist die Substrat-Bearbeitungsvorrichtung ferner ein Substrattemperatur-Anpassungssystem zum Anpassen der Temperatur des Substrats auf, das durch das Substrat-Haltelement in dem Bearbeitungsraum in dem Bearbeitungsbehälter gehalten wird. Das Substrattemperatur-Anpassungssystem kann eine Heizeinrichtung

sein, die in den Bearbeitungsbehälter eingearbeitet ist, oder ein Temperaturanpassungs-Gaszuführsystem zum Zuführen eines Gases mit einer regulierten Temperatur in den Bearbeitungsraum in dem Bearbeitungsbehälter.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist eine schematische vertikale Schnittansicht einer Reinigungsvorrichtung bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht eines Waferschiffchens, das als ein Wafer-Halteelement dient;

Fig. 3 ist eine Schnittansicht zur Darstellung eines ersten Schrittes eines Reinigungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 ist eine Schnittansicht zur Erläuterung eines zweiten Schrittes des Reinigungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 ist eine Schnittansicht zur Erläuterung eines dritten Schrittes des Reinigungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 ist eine schematische vertikale Schnittansicht einer Reinigungsvorrichtung einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 ist ein Diagramm zur Darstellung der Abhängigkeit der Harzentfernungsrate von der Ozonkonzentration;

Fig. 8 ist ein Diagramm zur Darstellung der Entfernungseigenschaften im Hinblick auf organische Substanzen eines Vorgangs der Bearbeitung von Wafern unter Verwendung von Ozon in einer unter Druck gesetzten Umgebung;

Fig. 9 ist eine schematische vertikale Schnittansicht einer Reinigungsvorrichtung in einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 10 ist eine Schnittansicht zur Darstellung eines Vorgangs, der durch die Reinigungsvorrichtung, die in **Fig. 9** gezeigt ist, durchzuführen ist;

Fig. 11 ist eine schematische vertikale Schnittansicht einer Reinigungsvorrichtung in einer noch weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 12 ist eine schematische vertikale Schnittansicht einer Reinigungsvorrichtung in einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 13 ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens, das durch die in **Fig. 12** gezeigte Reinigungsvorrichtung durchzuführen ist;

Fig. 14 ist eine schematische vertikale Schnittansicht einer Reinigungsvorrichtung in einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 15 ist ein Diagramm zur vergleichenden Darstellung der Entfernungsrates eines Vorgangs der Bearbeitung von Wafern unter Verwendung von Ozon in einer unter Druck gesetzten Umgebung und der Entfernungsrates eines Vorgangs der chemischen Bearbeitung von Wafern unter Verwendung von SPM;

Fig. 16 ist eine schematische vertikale Schnittansicht einer Reinigungsvorrichtung in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 17 ist eine vergrößerte schematische vertikale Schnittansicht eines in **Fig. 16** gezeigten Bearbeitungsbehälters;

Fig. 18 ist eine perspektivische Ansicht eines Körperelements des Bearbeitungsbehälters;

Fig. 19 ist eine perspektivische Ansicht zur Darstellung des Bodens des Bearbeitungsbehälters;

Fig. 20 ist ein Leitungsdiagramm einer Dampfzuführeinheit;

Fig. 21 ist eine perspektivische Ansicht eines Dampferzeugers;

Fig. 22 ist eine seitliche Ansicht einer Dampfdüse;

Fig. 23 ist ein Leitungsdiagramm einer Ozongas-Zuführeinheit;

Fig. 24 ist ein Leitungsdiagramm einer Heißluft-Zuführeinheit und einer Kühlluft-Zuführeinheit;

Fig. 25 ist eine perspektivische Ansicht eines Heißluftherzeugers;

Fig. 26 ist eine Schnittansicht eines Gummiheizers, der mit einem Temperatursensor versehen ist;

Fig. 27 ist eine perspektivische Ansicht des Dampferzeugers, wobei der Heißluftherzeuger und Leitungsvorrichtungen in einer Box enthalten sind;

Fig. 28 ist ein Leitungsdiagramm einer Ablassereinheit und einer Entleereinheit;

Fig. 29 ist eine perspektivische Ansicht eines Ablass-Sammelrohres;

Fig. 30 ist eine perspektivische Ansicht einer Nebelfalle;

Fig. 31 ist eine perspektivische Ansicht einer Abflussbox;

Fig. 32 ist eine perspektivische Ansicht eines Ablass-Sammelrohres;

Fig. 33 ist ein Flussdiagramm eines Reinigungsverfahrens, das durch die in **Fig. 16** gezeigte Reinigungsvorrichtung auszuführen ist;

Fig. 34 ist eine Diagrammansicht zur Erläuterung einer Ablassereinheit und in einer Modifikation;

Fig. 35 ist ein Leitungsdiagramm einer Modifikation des Dampferzeugers der in **Fig. 16** gezeigten Reinigungsvorrichtung;

Fig. 36 ist ein Leitungsdiagramm einer Modifikation der Ozonerzeugungseinheit der in **Fig. 16** gezeigten Regulier-vorrichtung;

Fig. 37 ist ein Leitungsdiagramm von Modifikationen der Heißluft-Zuführeinheit und der Kühlluft-Zuführeinheit der in **Fig. 16** gezeigten Reinigungsvorrichtung;

Fig. 38 ist eine Diagrammansicht zur Erläuterung der Abwärtsströmung von Heißluft entlang eines Wafers;

Fig. 39 ist ein Flussdiagramm eines Reinigungsverfahrens, das durch eine Reinigungsvorrichtung in einer Modifikation der Reinigungsvorrichtung, die in **Fig. 16** gezeigt ist, durchzuführen ist;

Fig. 40 ist ein Diagramm zur Erläuterung eines Reinigungsverfahrens, das durch die Reinigungsvorrichtung in einer Modifikation der in **Fig. 16** gezeigten Reinigungsvorrichtung auszuführen ist; und

Fig. 41 ist eine Diagrammansicht zur Erläuterung der Erklärung der Abwärtsströmung der Heißluft entlang eines Wafers, wenn ein Bearbeitungsbehälter mit Drallplatten an seiner Innenfläche versehen ist.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beige-fügten Zeichnungen beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine Reinigungsvorrichtung in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die beispielsweise fünfundzwanzig Wafer in einer Ladung reinigen kann. Die Reinigungsvorrichtung **1** verwendet Ozongas, um Resist-schichten von den Wafern **W** zu entfernen. Wie die **Fig. 1** zeigt, weist die Reinigungsvorrichtung **1** einen Bearbeitungsbehälter **2** auf, in dem die Wafer **W** gereinigt werden. Der Bearbeitungsbehälter **2** weist einen Behälterkörper **3**, der eine Kapazität aufweist, die hinreichend ist, um beispielsweise fünfundzwanzig Wafer **W** zu enthalten, und eine obere Abdeckung **4** auf, die abnehmbar an die Oberseite des Behälterkörpers **3** derart angebracht ist, dass das obere Ende des Behälterkörpers **3** geöffnet wird. Ein Dichtelement **5**,

wie z. B. ein O-Ring, ist zwischen dem oberen Ende des Behälterkörpers und der oberen Abdeckung, wie gezeigt in **Fig. 1**, angeordnet, um den Zwischenraum zwischen dem Behälterkörper **3** und der oberen Abdeckung **4** abzudichten, so dass die Atmosphäre in dem Behälterkörper **3** nicht nach außen ausfließen kann.

Ein Waferschiffchen **6**, d. h. ein Wafer-Halteelement ist in dem Behälterkörper **3** angeordnet, um Wafer **W** in einer aufrechten Haltung zu halten. Das Waferschiffchen **6** weist drei horizontale parallele Halteelemente **6a**, **6b** und **6c** auf. Wie **Fig. 2** zeigt, ist jedes der Halteelemente **6a**, **6b** und **6c** mit fünfundzwanzig Nuten **7** versehen, die bei gleichen Abständen ausgebildet sind. Die Halteelemente **6a**, **6b** und **6c** nehmen untere Umfangsabschnitte von Wafern **W** in den Nuten **7** auf, um die Wafer **W** daran zu halten. Somit kann der Behälterkörper **3** fünfundzwanzig Wafer **W** enthalten, die bei gleichen Abständen angeordnet sind. Das Waferschiffchen **6** weist einen Schaft **6d** zum Bewegen der Haltestangen **6a**, **6b** und **6c** nach unten in der Richtung des Pfeils **Z** zum Tragen der Wafer **W** in den Behälterkörper **3** und zum Bewegen selbiger nach oben in der Richtung des Pfeils **Z** zum Tragen der Wafer **W** aus dem Behälterkörper **3** auf. Ein festes Waferschiffchen mit Halteelementen, die fest in dem Bearbeitungsbehälter **2** angeordnet sind, kann anstelle des Waferschiffchens **6** verwendet werden.

Wie wiederum die **Fig. 1** zeigt, ist eine Heizeinrichtung **8** an einen oberen Bereich der Innenfläche des Behälterkörpers **3** derart angeordnet, dass sie die Wafer **W**, die an dem Waferschiffchen **6** in dem Behälterkörper **3** gehalten sind, umgibt. Die Heizeinrichtung wird durch eine Steuerungseinheit **9** gesteuert. Die Steuerungseinheit **9** sorgt für ein Steuerungssignal, um die Wärmeerzeugungsrate der Heizeinrichtung anzupassen, so dass die Wafer **W**, die in dem Bearbeitungsbehälter **2** angeordnet sind, und die Umgebung oder Atmosphäre um die Wafer bei einer vorbestimmten Temperatur bleibt.

Eine Dampf-Zuführeinheit **11** ist in einem unteren Bereich des Behälterkörpers **3** angeordnet, um Dampf **10** in den Bearbeitungsbehälter **2** zuzuführen. Die Dampf-Zuführeinheit **11** weist eine heiße Platte **12**, die an die Innenfläche der Seitenwand des Behälterkörpers **3** befestigt ist, eine Heizeinrichtung **13**, die an die untere Fläche der heißen Platte **12** angebracht ist, und eine Reinwasser-Zuführleitung **14** zum Tropfen von Reinwasser auf die obere Oberfläche der heißen Platte **12** auf. Die Steuerungseinheit **9** sorgt für ein Steuerungssignal, um die Wärmeerzeugungsrate der Heizeinrichtung **13** anzupassen. Das Einlassende der Reinwasser-Zuführleitung **14** ist mit einer Reinwasser (destilliertes Wasser)-Quelle (DIW-Quelle) **15** verbunden, und das Auslassende selbiger ist oberhalb der heißen Platte **12** angeordnet. Eine Strömungs-Steuerungseinrichtung **16** ist in der Reinwasser-Zuführleitung **14** angeordnet. Die Steuerungseinheit **9** sorgt für ein Steuerungssignal zur Steuerung der Strömungs-Steuerungseinrichtung **16**, um die Strömungsrate von Reinwasser in der Reinwasser-Zuführleitung **14** zu regulieren. Wenn Reinwasser durch die Reinwasser-Zuführleitung **14** auf die heiße Platte **12** getropft wird, die durch die Heizeinrichtung **13** erwärmt wird, wird Reinwasser in Dampf verdampft, um das Innere des Bearbeitungsbehälters **2** mit Dampf **10** zu füllen. Das auf die heiße Platte **12** getropfte und nicht verdampfte Reinwasser wird in dem Boden des Behälterkörpers **3** gesammelt und durch eine Ablassleitung **17** abgelassen.

Eine Ozongas-Zuführleitung **21** ist mit der oberen Abdeckung **4** verbunden, um Ozongas **20** in den Bearbeitungsbehälter **2** zuzuführen. Die Ozongas-Zuführleitung **21** weist ein Einlassende auf, das mit einer Ozongasquelle **22** verbunden ist. Eine Strömungs-Steuerungseinrichtung **23** und eine

UV-Lampe (Ultraviolettampe) **24** sind in der Ozongas-Zuführleitung **21** angeordnet. Die Strömungs-Steuerungseinrichtung **23** ist mit der Steuerungseinheit **9** verbunden. Die Steuerungseinheit **9** sorgt für ein Steuerungssignal zur Steuerung der Strömungsrate des durch die Ozongas-Zuführleitung **21** strömenden Ozongases **20**, indem die Strömungs-Steuerungseinrichtung **23** gesteuert wird. Die UV-Lampe **24** bestrahlt das Ozongas **20**, das durch die Ozongas-Zuführleitung **21** strömt, mit UV-Strahlen, um Ozon zu aktivieren. Eine Ablassleitung **25** ist mit der oberen Abdeckung **4** zum Evakuieren des Bearbeitungsbehälters **2** verbunden.

Dampf **10** kondensiert in Reinwasserschichten an den Oberflächen der Wafer **W** in der Reinigungsvorrichtung **1**. Die Steuerungseinheit **9** gibt ein Steuerungssignal zu der Heizeinrichtung **13**, um die Wärmeerzeugungsrate der Heizeinrichtung **13** anzupassen, so dass der Dampf **10** hinreichend erzeugt wird, und gibt ein Steuerungssignal zu der Heizeinrichtung **8**, um die Wafer **W** bei einer Temperatur niedriger als derjenigen des Dampfes **10** zu erwärmen. Somit wird der Unterschied zwischen der Temperatur der Wafer **W** und dem Taupunkt des Dampfes **10** gesteuert, um zu bewirken, dass der Dampf **10** in einem optimalen Zustand an den Oberflächen der Wafer **W** kondensiert. Das Ozongas **20** löst sich in den Reinwasserschichten, die an den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet sind, auf, um ozonhaltige Wasserschichten an den Oberflächen der Wafer **W** auszubilden. Die Oberflächen der Wafer **W** werden mit den ozonhaltigen Wasserschichten gereinigt. Die Steuerungseinheit **9** führt die folgenden Steuerungsvorgänge aus. Die Steuerungseinheit **9** gibt ein Steuerungssignal zu der Strömungs-Steuerungseinrichtung **16**, um die Dicke der Reinwasserschichten durch Anpassen der Erzeugungsrate des Dampfes **10** anzupassen. Die Steuerungseinheit **9** gibt ein Steuerungssignal an die Strömungs-Steuerungseinrichtung **23**, um die Strömungsrate des Ozongases **20** gemäß der Dicke der Reinwasserschicht anzupassen, so dass ein Zustand, in dem sich das Ozongas **20** nur in den Oberflächenschichten der Reinwasserschicht auflöst, vermieden wird, und das Ozongas **20** sich sicher in geeigneter Weise in den gesamten Reinwasserschichten auflöst.

Die Reinigungsvorrichtung **1** ist zusätzlich zu den vorangegangenen Elementen und Einheiten mit Reinwasser-Zuführdüsen **26**, die Reinwasser gegen die Oberfläche der Wafer **W** zum Abspülen ausstoßen, und mit Inertgas-Zuführdüsen **27** versehen, die Stickstoff (N_2)-Gas (ein Inertgas) gegen die Oberfläche der Wafer zum Trocknen ausstoßen.

Ein Reinigungsverfahren, das durch die Reinigungsvorrichtung **1** durchgeführt werden kann, wird nachfolgend beschrieben. Resistschichten **30** sind an Oberflächen der Wafer **W**, wie gezeigt in **Fig. 3**, ausgebildet. Fünfundzwanzig Wafer **W**, jeweils mit einer Oberfläche mit den Resistschichten überzogen, werden in dem Bearbeitungsbehälter **2**, wie in **Fig. 1** gezeigt, angeordnet. Die Resistschichten **30** weisen beispielsweise eine Dicke von 1200 nm auf.

Die Heizeinrichtung **13** wird betrieben, um die heiße Platte **12** bei beispielsweise 120°C zu erwärmen, Reinwasser wird auf die heiße Platte **12** durch die Reinwasser-Zuführleitung **14** zur Erzeugung des Dampfes **10** mit 120°C in den Bearbeitungsbehälter **2** getropft. Ozongas **20** mit einer Ozonkonzentration von beispielsweise etwa 192 g/m³ (normal) (etwa 9 Volumenprozent) wird durch die Ozongas-Zuführleitung **21** in den Bearbeitungsbehälter **2** zugeführt. Somit werden der Dampf **10** bzw. das Ozongas **20** durch getrennte Einrichtungen zugeführt.

Die Heizeinrichtung **8** wird mit Energie versorgt, um die Wafer **W**, die in dem Bearbeitungsbehälter **2** angeordnet sind, bei einer vorbestimmten Temperatur zu erwärmen. Die vorbestimmte Temperatur der Wafer **W** wird derart einge-

stellt, dass sie geringer ist als der Taupunkt des Dampfes **20**, und derart, dass sie für ein optimales Reinigungsverfahren unter Verwendung von Ozon geeignet ist. Da die Temperatur der Wafer **W** geringer ist als der Taupunkt des Dampfes **10** kondensiert der Dampf **10** an den Oberflächen der Wafer **W**, um Reinwasserschichten **31** an den Oberflächen der Wafer **W**, wie gezeigt in **Fig. 4**, auszubilden. Das Ozongas **20** löst sich in den Reinwasserschichten **31** auf.

Somit löst sich das Ozongas **20** in den Reinwasserschichten **31** zur Erzeugung von ozonhaltigen Wasserschichten mit zahlreichen Sauerstoffradikalen an der Oberfläche der Wafer **W** auf. Die Sauerstoffradikale, die an der Oberfläche der Wafer **W** erzeugt werden, bewirken eine Oxidationsreaktion, bevor sie verschwinden, wodurch das Resist, das die Resistschichten ausbildet, in Carbonsäure, Kohlendioxid, Wasser und dergleichen zerlegt wird. Dann werden, wie in **Fig. 5** gezeigt, die Resistschichten **30** oxidiert, und das die Resistschicht bildende Resist wird vollständig durch die ozonhaltigen Wasserschichten zerlegt, und die Resistschichten **30** werden in wasserlösliche Schichten **32** verändert. Die wasserlöslichen Schichten **32** können leicht durch einen nachfolgenden Abwaschschritt unter Verwendung von Reinwasser entfernt werden.

Dieses Reinigungsverfahren bildet die Reinwasserschichten **31** an den Oberflächen der Wafer **W** aus und bewirkt, dass sich das Ozongas **20** in den Reinwasserschichten **31** auflöst. Nachfolgend können die Reinwasserschichten **31** in ozonhaltige Wasserschichten verändert werden, die in der Lage sind, die Resistschichten **30** zu entfernen. Da die ozonhaltige Wasserschicht an den Wafern **W** unmittelbar vor der Reaktion ausgebildet werden kann, kann eine hohe Bearbeitungsfähigkeit der ozonhaltigen Wasserschichten für die Entfernung der Resistschichten **30** verwendet werden, bevor die Ozonkonzentration derselben mit der Zeit abnimmt. Somit können die Wafer **W** mit Oberflächen, die mit den Resistschichten überzogen sind, wirksam unter Verwendung von Ozon bearbeitet werden.

Ferner wird, da der Dampf **10** an die Oberflächen der Wafer **W** zugeführt wird, die bei einer Temperatur niedriger als dem Taupunkt des Dampfes **10** gehalten werden, die Kondensation des Dampfes **10** an den Oberflächen der Wafer **W** sichergestellt, und die dünnen Reinwasserschichten **31** können sicher und leicht an den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet werden. Die dünnen Reinwasserschichten **31** können in die ozonhaltigen Wasserschichten mit hoher Ozonkonzentration verändert werden, und somit kann das Reinigungsverfahren unter Verwendung von Ozon schnell ausgeführt werden. Das Ozongas **20** wird fortlaufend durch die Ozongas-Zuführleitung **21** zugeführt, um die Reinwasserschichten **31** mit Ozon durch fortlaufendes Auflösen des Sauerstoffgases **20** in den Reinwasserschichten **31** nachzufüllen. Nachfolgend kann hinreichendes Ozon durch die dünnen Reinwasserschichten **31** zu den Resistschichten **30** zugeführt werden, um eine hohe Reaktionsrate aufrechtzuerhalten. Im wünschenswerter Weise werden die Reinwasserschichten **31** und die ozonhaltigen Wasserschichten in einer Dicke ausgebildet, die ein wenig größer ist als eine Tropfenbildungsdicke. Die Wafer **W** werden bei einer Temperatur gehalten, die geringer ist als der Taupunkt des Dampfes **10** und wirksam ist für die Unterstützung der aktiven Oxidationsreaktion, so dass der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon unterstützt werden kann.

Nachdem die Wafer **W** gereinigt wurden, wird Reinwasser durch die Reinwasser-Zuführdüsen **26** gegen die Oberflächen der Wafer **W** ausgestoßen, um die wasserlöslichen Schichten **31** zum Abspülen abzuwaschen, und dann wird N₂-Gas (Inertgas) durch die Inertgas-Zuführdüsen **27** zum Entfernen von Flüssigkeitstropfen von den Wafern **W** zum

Trocknen ausgespritzt. Nachfolgend wird die obere Abdeckung **4** entfernt, um den Behälterkörper **3** zu öffnen, und die Wafer **W** werden aus der Reinigungsvorrichtung **1** genommen. Die Wafer **W** können aus der Reinigungsvorrichtung **1**, unmittelbar nachdem die Resistschichten **30** entfernt wurden, entnommen werden, und die Wafer **W** können durch eine Abspülvorrichtung und eine Trocknungsvorrichtung anstelle dessen, dass selbige in der Reinigungsvorrichtung **1** abgespült und getrocknet werden, abgespült und getrocknet werden.

Das Reinigungsverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung bildet die ozonhaltigen Wasserschichten mit einer hohen Reinigungsfähigkeit an den Oberflächen der Wafer **W** unmittelbar vor dem Reinigen aus. Folglich können die Wafer **W** wirksam durch den Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon bearbeitet werden, und die Resistschichten **30** können vollständig entfernt werden. Die Reinigungsvorrichtung **1** bei dieser Ausführungsform der Erfindung ist in der Lage, das vorangehend erklärte Reinigungsverfahren in geeigneter Weise durchzuführen.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf diese praktische Anwendung der vorangehenden Ausführungsform beschränkt. Beispielsweise wird bevorzugt, eine kleine Menge von Katalysatorgas, wie z. B. NO_x-Gas, in den Bearbeitungsbehälter zuzuführen, um die Erzeugung von Sauerstoffradikalen in den Flüssigkeitsschichten für die Aktivierung der Oxidationsreaktion zu unterstützen. Obwohl die Dampfzuführreinheit innerhalb des Bearbeitungsbehälters angeordnet ist, um Dampf innerhalb der Reinigungsvorrichtung dieser Ausführungsform zu erzeugen, kann Dampf, der außerhalb der Reinigungsvorrichtung erzeugt wurde, in den Bearbeitungsbehälter zugeführt werden. Wenn der Dampf durch einen äußeren Dampferzeuger zugeführt wird, muss der Bearbeitungsbehälter nicht die Dampfzuführreinheit darin enthalten, und somit kann die Reinigungsvorrichtung in eine kompakte Gestaltung ausgebildet werden.

Eine Reinigungsvorrichtung **40** in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 6** beschrieben, bei der Teile, die ähnlich zu denjenigen der Reinigungsvorrichtung **1** sind, oder diesen entsprechen, durch die gleichen Referenznummern bezeichnet sind, und deren Beschreibung wird zur Vermeidung von Wiederholungen weggelassen.

Die Reinigungsvorrichtung **1** bei der oben beschriebenen Ausführungsform lässt das Gas in dem Bearbeitungsbehälter durch die Ablassleitung **25** frei ab. Wie in **Fig. 6** gezeigt ist, weist die Reinigungsvorrichtung **40** eine Ablassleitung **41** auf, die mit einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **42** versehen ist, um den Druck in einem Bearbeitungsbehälter **2** zu steuern. Die Strömungs-Steuerungseinrichtung **42** wird durch eine Steuerungseinheit **9** gesteuert. Ein Drucksensor **43** ist innerhalb des Bearbeitungsbehälters **2** angeordnet. Der Drucksensor **43** gibt ein Drucksignal zu der Steuerungseinheit **9**. Die Steuerungseinheit **9** steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung **42** auf der Basis des Drucksignals, um die Strömung des Gases zu steuern, das durch die Ablassleitung **41** strömt. Eine Ozongasquelle **22** führt das Ozongas bei einem Zuführdruck von 196 kPa zu. Somit wird das innere des Bearbeitungsbehälters **2** bei einem vorbestimmten Überdruck von beispielsweise 196 kPa gehalten.

Wie in **Fig. 6** gezeigt ist, weist die Reinigungsvorrichtung **40** einen Betriebsgas-Zuführbereich **44** mit einem Einlassende, das mit einer Dampfzuführquelle **46** verbunden ist, und einem Auslassende, das mit dem Boden des Bearbeitungsbehälters **2** verbunden ist, auf. Die Dampf-Zuführreinheit **44** ist mit einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **45** versehen. Die Dampfquelle **46** weist einen Dampferzeu-

gungsbehälter 47, eine Reinwasser-(destilliertes Wasser-)Quelle 48, eine Reinwasser-Zuführleitung 49, eine heiße Platte 50, eine Heizeinrichtung 51 und ein Ablassrohr 52 auf. Die Steuerungseinheit 9 steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung 45 zur Steuerung der Strömung des Dampfes 10 durch die Dampf-Zuführleitung 44.

Eine N₂-Gas-Zuführleitung 60 ist mit Inertgas-Zuführdüsen 27 verbunden. Die N₂-Gas-Zuführleitung 60 ist in eine erste und zweite Zweigleitung gegabelt. Die erste Zweigleitung ist durch eine Strömungs-Steuerungseinrichtung 62 mit einem N₂-Gas-Behälter 61 verbunden, der N₂-Gas enthält. Die zweite Zweigleitung ist durch eine Strömungs-Steuerungseinrichtung 64 mit einem heißen N₂-Gas-Behälter 63 verbunden, der N₂-Gas enthält, das auf beispielsweise 150°C erwärmt ist. Die Steuerung 9 steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung 62 und 64 zur Zuführung des N₂-Gases oder des heißen N₂-Gases zu den Inertgas-Zuführdüsen 27. Ein Ablassrohr 65 ist mit einem unteren Teil des Bearbeitungsbehälters 2 verbunden.

Ein Reinigungsverfahren, das durch die Reinigungsvorrichtung 40 durchzuführen ist, wird beschrieben. Wafer W mit einer gewöhnlichen Temperatur (23°C) werden in dem Bearbeitungsbehälter 2 angeordnet. Die Heizeinrichtung 8 wird beispielsweise auf 115°C betrieben, um die Wafer W auf eine vorbestimmte Temperatur zu erwärmen. Das Ozongas 20 wird bei einem Zuführdruck von 196 kPa durch die Ozongas-Zuführleitung 21 in den Bearbeitungsbehälter 2 zugeführt, und gleichzeitig wird das heiße N₂-Gas von beispielsweise 150°C durch die Inertgas-Zuführdüsen 27 gegen die Oberflächen der Wafer W ausgestoßen. Folglich können die Wafer W unmittelbar auf die vorbestimmte Temperatur erwärmt werden.

Nachdem die Wafer W auf die vorbestimmte Temperatur erwärmt wurden, wird die Zuführung des heißen N₂-Gases angehalten, und der Dampf 10 wird durch die Dampf-Zuführleitung 44 in den Bearbeitungsbehälter 20 derart zugeführt, dass der Dampf 20 auf die Oberflächen der Wafer W aufgebracht wird. Die Strömungs-Steuerungseinrichtung 42 der Ablassleitung 41 ist derart gesteuert, dass sie das Gas bei einer geringen Ablassrate von dem Bearbeitungsbehälter 2 ablässt, so dass das Innere des Bearbeitungsbehälters 20 bei 196 kPa gehalten wird. Die Ozonkonzentration des Ozongases 20 wird in dem Bearbeitungsbehälter 20 erhöht.

Der Dampf 10 kondensiert an den Oberflächen der Wafer W in Reinwasserschichten 31. Das Ozongas 20, das in den Bearbeitungsbehälter 2 zugeführt wird, löst sich in den Reinwasserschichten 31 zur Ausbildung von ozonhaltigen Wasserschichten 32. Ein Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon kann schnell durch die Wirksamkeit der ozonhaltigen Wasserschichten durchgeführt werden, die an den Oberflächen der Wafer W ausgebildet werden.

Wenn der Dampf 10 auf die Wafer W aufgebracht wird, die bei der gewöhnlichen Temperatur gehalten werden, kondensiert der Dampf 10 übermäßig an den Oberflächen der Wafer W, und eine große Anzahl von Wassertropfen bilden sich an den Oberflächen der Wafer W, weil der Unterschied zwischen der Temperatur der Wafer W und dem Taupunkt des Dampfes 10 groß ist. Wenn Reinwasserschichten 31 in einer derart großen Dicke ausgebildet werden, wird die Bearbeitungsfähigkeit der Reinigungsvorrichtung 40 verringert werden.

Der Dampf 10 kann in Reinwasserschichten 31 mit geeigneter Dicke kondensiert werden, indem der Dampf 10 an die Oberflächen der Wafer W eingeführt wird, nachdem die Wafer auf die vorbestimmte Temperatur, wie oben erwähnt, erwärmt wurden. Somit können die dünnen Reinwasserschichten 31 sicher an den Oberflächen der Wafer W ausgebildet werden, so dass die Verringerung der Bearbeitungsfähigkeit

vermieden werden kann. Da die Wafer W in einer Umgebung von 196 kPa angeordnet werden, kann eine vergrößerte Menge des Ozongases 20 in den Reinwasserschichten 31 aufgelöst werden, so dass die ozonhaltigen Wasserschichten mit einer sehr hohen Ozonkonzentration ausgebildet werden können. Folglich kann die Bearbeitungsfähigkeit weiter verbessert werden.

Nachdem Resistschichten 30 an den Wafern W entfernt wurden, werden die Wafer W aus dem Bearbeitungsbehälter 2 genommen, die Wafer W werden nacheinander zu einer Abspülvorrichtung und einer Trocknungsvorrichtung zum Abspülen und Trocknen getragen. Die Zuführung des Dampfes 10 und des Ozongases 20 in den Bearbeitungsbehälter 2 wird angehalten. Flüssigkeiten, die in dem Bearbeitungsbehälter 2 verbleiben, werden durch das Ablassrohr 65 abgelassen. Die Strömungs-Steuerungseinrichtung 42 wird vollständig geöffnet, N₂-Gas wird durch die Inertgas-Zuführdüsen 27 in den Bearbeitungsbehälter 2 für ein N₂-Gas-Ausblasen zugeführt. Nachfolgend wird der Bearbeitungsbehälter 2 von dem Dampf 10 und dem Ozongas 20 ausgeblasen, und das Innere des Bearbeitungsbehälters wird getrocknet. Nachdem die bearbeiteten Wafer W von dem Bearbeitungsbehälter 2 herausgenommen wurden, werden Wafer W mit einer gewöhnlichen Temperatur, die zu bearbeiten sind, in dem nachfolgenden Bearbeitungszyklus in den Bearbeitungsbehälter 2 getragen. Wenn die Wafer W mit der gewöhnlichen Temperatur in dem Bearbeitungsbehälter 2 angeordnet werden, wobei etwas von dem Dampf 10 in dem Bearbeitungsbehälter 2 verbleibt, werden die Oberflächen der Wafer W mit einer großen Menge von Reinwasser genässt. Da die Dampfquelle 46 von dem Bearbeitungsbehälter 2 getrennt ist, kann die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 2 leicht gewechselt werden, und somit können die Oberflächen der Wafer W trockengehalten werden, bis die Wafer W auf eine vorbestimmte Temperatur erwärmt werden, und der Dampf in den Bearbeitungsbehälter 2 zugeführt wird.

Dieses Reinigungsverfahren verkürzt die Zeit, die erforderlich ist, um die Wafer W auf die vorbestimmte Temperatur unter Verwendung des heißen N₂-Gases zu erwärmen, und verkürzt die Zeit, die erforderlich ist, um die ozonhaltigen Wasserschichten 32 durch Zuführen des Ozongases 20 in dem Bearbeitungsbehälter 2 auszubilden, bevor der Dampf 10 in den Bearbeitungsbehälter 2 zugeführt wird. Deshalb kann der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon schnell durchgeführt werden, und die Reinigungsvorrichtung 40 ist in der Lage, bei einem hohen Durchsatz betrieben zu werden. Da die Wafer W in der unter Druck gesetzten Umgebung bearbeitet werden, löst sich Ozon in den Reinwasserschichten 20 in einer hohen Ozonkonzentration auf. Folglich können die Resistschichten von den Wafern W bei einer hohen Effizienz entfernt werden, und die Wirkung des Reinigungsvorganges unter Verwendung von Ozon kann weiter verbessert werden.

Die Reinigungsvorrichtung 40 führt den Dampf 10 durch die Dampf-Zuführleitung 44 in den Bearbeitungsbehälter 2 zu. Deshalb kann der Feuchtigkeitsanteil der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 2 leicht angepasst werden, und die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 2 kann getrocknet werden. Da die Heizeinrichtung 51 Wärme in der Dampfquelle 46 erzeugt, sind die Wafer W, die in der Bearbeitungskammer 2 angeordnet sind, nicht durch den Wärmeeinfluss der Heizeinrichtung 51 betroffen. Demzufolge werden die Wafer W nicht übermäßig über eine erforderliche Temperatur erwärmt, und somit ist es möglich, beispielsweise eine unerwünschte Situation zu vermeiden, bei der die Wafer W auf eine Temperatur höher als dem Taupunkt des Dampfes 10 erwärmt werden, und der Dampf 10

Schwierigkeiten hat, an den Wafern **W** zu kondensieren, die Reinwasserschichten nicht ausgebildet werden können, und der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon nicht erreicht werden kann. Die Reinigungsvorrichtung **1**, die in **Fig. 1** gezeigt ist, sowie die Reinigungsvorrichtung **40** können mit einer Strömungs-Steuerungseinrichtung versehen sein, die in der Ablassleitung **25** angeordnet ist, und die Wafer können in einer unter Druck gesetzten Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **2** bearbeitet werden.

BEISPIEL 1

Ergebnisse eines Testbetriebs der Reinigungsvorrichtung **40** in der oben beschriebenen Ausführungsform werden erläutert.

Wafer, die mit einer Schicht eines organischen Materials (BARC) überzogen waren, wurden einem Reinigungsvorgang unterworfen. Die Abhängigkeit der Schicht-Entfernungsrate von der Ozonkonzentration von Ozongas wurde untersucht. Gemessene Ergebnisse sind in **Fig. 7** gezeigt, in der die Ozonkonzentration (g/m^3 (normal)) an der horizontalen Achse gemessen ist, und die Schicht-Entfernungsrate (nm/s) an der vertikalen Achse gemessen ist. Wie aus **Fig. 7** offensichtlich ist, vergrößerte sich die Schicht-Entfernungsrate mit einer Vergrößerung der Ozonkonzentration.

Wafer, die mit einer organischen Schicht überzogen waren, wurden einem Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon in einer unter Druck gesetzten Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter unterworfen, um die Bearbeitungsfähigkeit der Reinigungsvorrichtung **40** zu untersuchen. Ozongas mit einer Ozonkonzentration von etwa 162 g/m^3 (normal) (etwa 7,6 Volumenprozent) wurde verwendet. Die Bearbeitungszeit betrug drei Minuten, und die Anfangsdicke der organischen Schicht betrug 67,4 nm. Da die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter unter Druck gesetzt ist, steigt der Kochpunkt des Reinwassers in dem Bearbeitungsbehälter an. Die Abhängigkeit der Dicke der Schicht, die nach der Bearbeitung verbleibt, und der Temperatur des Wafers für die Reinwassertemperatur, d. h. Dampftemperaturen 80°C , 90°C , 100°C und 120°C , ist in **Fig. 8** gezeigt, in der die Temperatur ($^\circ\text{C}$) des Wafers an der horizontalen Achse gemessen, und die Dicke (nm) der Schicht, die nach der Bearbeitung verbleibt, an der vertikalen Achse gemessen ist.

In **Fig. 8** steht eine Kurve a für 80°C Reinwassertemperatur, eine Kurve b ist eine Kurve für 90°C Reinwassertemperatur, eine Kurve c ist für 100°C Reinwassertemperatur, eine Kurve d ist für 110°C Reinwassertemperatur, und eine Kurve e ist für 120°C Reinwassertemperatur.

Wie aus den Kurven a bis e in **Fig. 8** hervorgeht, ist die Dicke der verbleibenden Schicht desto kleiner, je höher die Temperatur des Reinwassers ist. Es ist von dieser Tatsache bekannt, dass die Leistung im Hinblick auf die Entfernung der organischen Schicht zufriedenstellend ist, wenn Reinwasser mit einer hohen Temperatur verwendet wird, die Reaktionsrate vergrößert sich gemäß der Vergrößerung der Temperatur des Reinwassers, und der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon wird aktiviert. Es ist anhand der Kurven b, d und e bekannt, dass die Menge der entfernten organischen Schicht sich mit der Vergrößerung der Temperatur des Wafers vergrößert, und der Dampf in geeigneter Weise, und bei einem Optimum, kondensiert, dünne Reinwasserschichten ausgebildet werden, wenn die Temperatur der Wafer die Temperatur des Dampfes annähert, und der Unterschied zwischen den jeweiligen Temperaturen des Wafers und des Dampfes sich verringert.

Es wird gefolgert, dass, je dünner die Reinwasserschicht, das Ozongas in der Lage ist, tiefer in die Reinwasserschicht einzudringen, um eine ozonhaltige Wasserschicht mit hoher

Ozonkonzentration auszubilden, und die organische Schicht wirksam durch die ozonhaltige Wasserschicht entfernt werden kann. Es wird ferner gefolgert, dass die ozonhaltige Wasserschicht mit hoher Ozonkonzentration die Schicht-Entfernungsrate, wie oben in Zusammenhang mit **Fig. 7** erwähnt, vergrößert hat. Die Menge der entfernten organischen Schicht verringert sich mit einer Vergrößerung der Wafertemperatur, wenn die Wafertemperatur sich über 80°C in der Kurve b vergrößert, über 90°C in der Kurve d, und über 100°C in der Kurve e. Es wird anhand der Kurven b, d und e gefolgert, dass es schwierig ist, eine Reinwasserschicht auszubilden, wenn die Wafertemperatur äußerst nahe an der Temperatur des Dampfes liegt, und folglich kann der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon nicht unterstützt werden.

Wafer, die mit einer organischen Schicht überzogen waren, wurden einem Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon und Reinwasser mit 90°C in einer nicht unter Druck gesetzten Umgebung unterworfen. Das Ergebnis dieses Vorgangs ist bei einem Punkt f in **Fig. 8** angezeigt. Wenn die gleichen Wafer dem gleichen Vorgang in einer Umgebung von 196 kPa unterworfen wurden, verlagerte sich der Punkt f zu einem Punkt b₁ auf der Kurve b; d. h. die Menge der entfernten organischen Schicht wurde durch die Umgebung um 196 kPa verdoppelt. Es ist anhand dieser Tatsache bekannt, dass die unter Druck gesetzte Atmosphäre, in der die Wafer bearbeitet werden, die Bearbeitungsfähigkeit der ozonhaltigen Wasserschicht vergrößert.

Da die ozonhaltige Wasserschicht mit einer hohen Bearbeitungsfähigkeit an den Oberflächen der Wafer unmittelbar vor Beginn des Reinigungsvorgangs ausgebildet wird, können die Wafer wirksam bearbeitet werden. Folglich können Stoffe, die an den Oberflächen der Wafer haften, wie z. B. organische Substanzen, metallische Substanzen, Teilchen und natürliche Oxide, vollständig entfernt werden.

Eine Reinigungsvorrichtung **100** in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 9** beschrieben. Die Reinigungsvorrichtung **100** ist in der Lage, fünfzig Wafer **W** in einer Ladung zu bearbeiten. Die Reinigungsvorrichtung **10** ist dafür gedacht, Resist-schichten von den Oberflächen der Wafer **W** unter Verwendung von Ozongas zu entfernen.

Wie die **Fig. 9** zeigt, weist die Reinigungsvorrichtung einen Bearbeitungsbehälter **102**, in dem Wafer **W** bearbeitet werden, ein Waferschiffchen **6**, d. h. ein Wafer-Halteelement, zum Halten der Wafer **W** in dem Bearbeitungsbehälter **102**, eine Dampfzuführeinheit **105**, d. h. ein Lösungsmittel-dampf-Zuführsystem, zum Zuführen von Dampf **104** in den Bearbeitungsbehälter **102**, eine Ozongas-Zuführeinheit **107**, d. h. ein Betriebsgas-Zuführsystem, zum Zuführen von Ozongas **106** in den Bearbeitungsbehälter **102**, und eine N₂-Gas-Zuführeinheit **109**, d. h. ein Trocknungsgas-Zuführsystem, zum Zuführen von heißem N₂-Gas (Trocknungsgas), in den Bearbeitungsbehälter **102** auf.

Der Bearbeitungsbehälter **102** weist einen Behälter **110**, der in der Lage ist, beispielsweise fünfzig Wafer **W** zu enthalten, und eine entfernbare obere Abdeckung **111** auf, die das offene obere Ende des Behälterkörpers **110** abdeckt. Ein Lippen-O-Ring **113** ist zwischen dem offenen oberen Ende des Behälterkörpers **110** und der oberen Abdeckung **111**, wie gezeigt, angeordnet, um einen Zwischenraum zwischen dem Behälterkörper **110** und der oberen Abdeckung **111** abzudichten, so dass die Umgebung in einer Ozon-Bearbeitungskammer **115**, die durch den Behälterkörper **110** definiert ist, nicht nach außen strömen kann.

Eine Lampen-Heizeinrichtung **120** ist an der Außenfläche der oberen Wand der oberen Abdeckung **111** angebracht. Eine Steuerungseinheit **121** steuert die zu der Lampen-Heiz-

einrichtung **120** zugeführte Energie, um die Wärme zu steuern, die durch die Lampen-Heizeinrichtung **120** erzeugt wird, damit die Wafer **W** und die Umgebung, welche die Wafer **W** umgibt, auf eine vorbestimmte Temperatur erwärmt werden.

Abläss-Sammelrohre **122** sind in dem Bearbeitungsbehälter **2** angeordnet, um die Umgebung in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** anzusaugen, und selbige zur Außenseite abzulassen. Ein Ablassrohr **123**, das mit einem Ablasssystem der Anlage verbunden ist, ist mit den Ablass-Sammelrohren **122** verbunden.

Das Waferschiffchen **6** ist ähnlich zu demjenigen, das in **Fig. 2** gezeigt ist, und ist in der Lage, beispielsweise fünfzig Wafer **W** zu halten, die bei gleichen Abständen in einer vertikalen Haltung angeordnet sind. Die Dampf-Zuführeinheit **105** ist in einem Bodenbereich des Behälterkörpers **110** angeordnet. Die Dampf-Zuführeinheit **105** weist eine heiße Platte **130**, die an eine Innenfläche der Seitenwand des Behälterkörpers **110** befestigt ist, eine Heizvorrichtung **131**, die an die untere Oberfläche der heißen Platte **130** angebracht ist, und eine Reinwasser-Zuführleitung **132** zum Tropfen von Reinwasser auf die obere Fläche der heißen Platte **130** auf. Die Steuerungseinheit **121** steuert die Energiezuführung zu der Heizvorrichtung **131**, um die Wärmeerzeugungsrate der Heizvorrichtung **131** zu steuern. Das Einlassende der Reinwasser-Zuführleitung **132** ist mit einer Reinwasser-Quelle **133** verbunden, und das Auslassende selbiger ist oberhalb der heißen Platte **130** angeordnet. Ein Abschlussventil **135** und eine Strömungs-Steuerungseinrichtung **136** sind in der Reinwasser-Zuführleitung **132** angeordnet. Die Steuerungseinheit **121** steuert das Abschlussventil **135** und die Strömungs-Steuerungseinrichtung **136**. Die Steuerungseinheit **121** sorgt für ein Steuerungssignal zum Öffnen oder Schließen des Abschlussventils **135** und sorgt für ein Steuerungssignal zur Anpassung der Strömungsrate von Reinwasser durch die Reinwasser-Zuführleitung **132** durch Steuerung der Öffnung der Strömungs-Steuerungseinrichtung **136**. Wenn Reinwasser durch die Reinwasser-Zuführleitung **132** auf die erwärmte heiße Platte **130**, die durch die Heizvorrichtung **131** erwärmt wurde, getropft wird, wird Reinwasser in Dampf **104** verdampft. Das Innere des Bearbeitungsbehälters **102** ist mit dem Dampf **104** angefüllt. Das auf die heiße Platte **12** getropfte und nicht verdampfte Reinwasser wird in dem Boden des Behälterkörpers **110** gesammelt und wird durch ein Ablassrohr **137** abgelassen.

Die Ozongas-Zuführeinheit **107** weist eine Ozonquelle **140**, die Ozongas **106** erzeugt und zuführt, eine Ozongas-Zuführleitung **141** zum Tragen des durch die Ozonquelle **140** erzeugten Ozongases **106** und Ozongas-Ausspritzdüsen **142** zum Ausspritzen des Ozongases **106**, das durch die Ozongas-Zuführleitung **141** getragen wird, in den Bearbeitungsbehälter **102** auf. Die Ozongas-Zuführleitung **141** ist mit einem Abschlussventil **143**, einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **144** und einer UV-Lampe **145** versehen. Das Abschlussventil **143** und die Strömungs-Steuerungseinrichtung **144** werden durch die Steuerungseinheit **121** gesteuert. Die Steuerungseinheit **121** sorgt für ein Steuerungssignal zum Öffnen oder Schließen des Abschlussventils **143**. Die Steuerungseinheit **121** sorgt für ein Steuerungssignal zur Steuerung der Strömungs-Steuerungseinrichtung **144** zur Anpassung der Strömungsrate des Ozongases **106** in der Ozongas-Zuführleitung **141**. Die UV-Lampe **145** bestrahlt das Ozongas **106**, das durch die Ozongas-Zuführleitung **141** strömt, mit UV-Strahlen, um Ozon zu aktivieren.

Die Inertgas-Zuführeinheit **109** weist eine N₂-Gas-Zuführleitung **150** zum Tragen von N₂-Gas oder heißem N₂-Gas **108** und N₂-Gas-Zuführdüsen **151** zum Ausspritzen von

N₂-Gas oder heißem N₂-Gas **108** auf, das durch die Inertgas-Zuführleitung **150** zugeführt wird. Das Einlassende der Inertgas-Zuführleitung **150** ist mit einer Inertgasquelle **160** verbunden. Die Inertgas-Zuführleitung **150** ist mit einem Abschlussventil **152** und einer Heizeinrichtung **153** zum Erwärmen des N₂-Gases versehen. Das Abschlussventil **152** und die Heizeinrichtung **153** werden durch die Steuerungseinheit **151** gesteuert. Wenn die Steuerungseinheit **121** das Abschlussventil **152** öffnet, und die Heizeinrichtung **153** betätigt, wird N₂-Gas mit einer gewöhnlichen Temperatur, das von der Inertgasquelle **160** zugeführt wird, erwärmt, und heißes N₂-Gas **108** kann durch die N₂-Gas-Zuführdüsen **151** ausgespritzt werden. Das Waferschiffchen **6** kann schnell durch das Ausspritzen des heißen N₂-Gases **108** gegen das Waferschiffchen **6** getrocknet werden.

Die Reinigungsvorrichtung **100** bildet eine Wassermolekülschicht (H₂O-Schicht), d. h. eine Lösungsmittelschicht, über die Oberflächen der Wafer **W**. Die Steuerungseinheit **121** setzt die Heizeinrichtung **131** unter Energie und passt die Wärmeerzeugungsrate der Heizvorrichtung **131** an, so dass hinreichend Dampf **104** erzeugt wird, und setzt die Lampen-Heizeinrichtung **120** unter Energie, so dass die Wafer **W** auf eine Temperatur höher als den Taupunkt des Dampfes **104** erwärmt werden, um den Unterschied zwischen der Temperatur der Wafer **W** und dem Taupunkt des Dampfes **104** in geeigneter Weise zu steuern. Somit kann eine Wassermolekülschicht mit hoher Dichte über den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet werden. Ozonmoleküle werden in die Wassermolekülschicht, die an den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet ist, gemischt, um eine Ozonwasser-Molekülschicht mit hoher Ozonkonzentration auszubilden. Somit wird ein Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon durchgeführt. Die Steuerungseinheit **121** steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung **136** zur Anpassung der Rate der Erzeugung des Dampfes **104**, so dass die Wassermolekülschicht in geeigneter Weise ausgebildet wird. Die Steuerungseinheit **121** steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung **144** zur Steuerung der Strömungsrate des Ozongases **106** gemäß dem Ausmaß der Ausbildung der Wassermolekülschicht, so dass sich das Ozon in geeigneter Weise in der Wassermolekülschicht auf löst.

Reinwasser-Zuführdüsen **155** sind in der oberen Abdeckung **111** zum Ausspritzen von Reinwasser gegen die Wafer **W** zum Abspülen angeordnet. Die Wafer **W** können durch Ausspritzen von heißem N₂-Gas gegen die Wafer **W** durch die Inertgas-Zuführdüsen **151** getrocknet werden.

Nachfolgend wird ein Reinigungsverfahren, das durch die Reinigungsvorrichtung **100** durchgeführt wird, beschrieben. Die Reinigungsvorrichtung **100** führt den Dampf **104** und das Ozongas **106** in den Bearbeitungsbehälter **102** zu, der die Wafer **W** enthält, um die Wafer **W** durch Hydroxylradikale zu bearbeiten, die durch die Wechselwirkung zwischen dem Dampf **104** und dem Ozongas **106** erzeugt werden. Fünfzig Wafer **W** mit Oberflächen, die mit Resistschichten **30** überzogen sind, wie in **Fig. 3** gezeigt ist, werden in dem Bearbeitungsbehälter **102** jeweils auf eine Art und Weise angeordnet, wie sie im Zusammenhang mit der Beschreibung der oben genannten Ausführungsformen erwähnt wurde. Die Dicke der Resistschichten **30** beträgt beispielsweise 1200 nm.

Die Heizeinrichtung **131** wird mit Energie versorgt, damit die heiße Platte **130** auf beispielsweise 120°C erwärmt wird. Reinwasser wird von der Reinwasser-Zuführleitung **132** auf die heiße Platte **130** getropft, um den Dampf **104** mit 120°C zu erzeugen, und der Dampf **104** wird in den Bearbeitungsbehälter **102** zugeführt. Währenddessen wird das Ozongas **106** mit einer Ozonkonzentration von beispielsweise etwa 192 g/m³ (normal), d. h. etwa 9 Volumenprozent, durch die

Ozongas-Zuführleitung **121** zugeführt, und wird durch die Ozongas-Zuführdüsen **142** in den Bearbeitungsbehälter **102** ausgespritzt. Somit werden der Dampf **104** und das Ozongas **106** einzeln zugeführt.

Die Lampen-Heizeinrichtung **120** wird mit Energie versorgt, um die Wafer **W** auf eine vorbestimmte Temperatur zu erwärmen, die in einem Temperaturbereich liegt, die für einen Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon am besten geeignet ist, höher als dem Taupunkt des Dampfes **102** und niedriger als der Temperatur des Dampfes **104**. Da die Wafer **W** auf die vorbestimmte Temperatur höher als den Taupunkt des Dampfes **104** erwärmt werden, kondensiert der Dampf **104**, wenn er in die Bearbeitungskammer **102** zugeführt wird, nicht an dem Wafer **W**; d. h. der Dampf **104** kondensiert nicht an einer Reinwasserschicht an den Oberflächen der Wafer **W**, und eine Wassermolekülschicht mit hoher Dichte mit Wassermolekülen (H_2O -Molekülen) **161** kann sicher ausgebildet werden.

Ozonmoleküle (O_3 -Moleküle) **162** werden in die Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** zur Ausbildung einer Ozon-Wasser-Molekülschicht mit Wassermolekülen **161** und Ozonmolekülen **162** gemischt. Die Wassermoleküle **161** und die Ozonmoleküle **162** wirken in der Ozon-Wasser-Molekülschicht zur Erzeugung einer großen Menge von reaktiven Substanzen zusammen, wie z. B. Sauerstoffradikale und Hydroxylradikale (OH-Radikale) in der Umgebung der Oberflächen der Wafer **W**.

Die Hydroxylradikale, die so an den Oberflächen der Wafer **W** erzeugt werden, verschwinden nicht, bewirken unmittelbar eine Oxidationsreaktion und zerlegen das Resist, das die Resistschichten **160** bildet, in Carbonsäure, Kohlendioxid, Wasser und dergleichen. Folglich wird das Resist, das die Resistschichten **160** bildet, oxidiert und zerlegt, und die Resistschichten **160** werden in wasserlösliche Schichten **160a** verändert. Die wasserlöslichen Schichten **160a** können leicht durch Abspülen unter Verwendung von Reinwasser entfernt werden.

Somit bildet dieses Reinigungsverfahren die Wassermolekülschicht mit hoher Dichte mit Wassermolekülen **161** an den Oberflächen der Wafer **W** und mischt Ozonmoleküle **162** in die Wasser-Molekülschicht. Folglich kann die Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** in die Ozon-Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** und Ozonmolekülen **162** verändert werden. Die Ozon-Wasser-Molekülschicht wird an den Oberflächen der Wafer **W** unmittelbar vor der Reaktion ausgebildet, die Ozon-Wasser-Molekülschicht wird verwendet, bevor sich ihre Ozonkonzentration mit der Zeit verringert, Hydroxylradikale werden in der Ozon-Wasser-Molekülschicht erzeugt, und im Wesentlichen die gesamten erzeugten Hydroxylradikale in dem Bearbeitungsbehälter **102** werden wirksam für den Reinigungsvorgang verwendet. Somit zeigt das Reinigungsverfahren eine hohe Bearbeitungsfähigkeit. Nachfolgend ist die Reinigungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung in der Lage, die Wafer **W** wirksam bei einer hohen Entfernungsrate zu bearbeiten, die 1,5mal oder mehr die Bearbeitungsrate beträgt, bei der die herkömmliche Reinigungsvorrichtung arbeitet.

Da der Dampf **104** zu den Wafern **W** aufgebracht wird, die auf eine Temperatur höher als den Taupunkt des Dampfes **104** und niedriger als die Temperatur des Dampfes **104** erwärmt sind, kondensiert der Dampf **104** nicht in einer Reinwasserschicht an den Oberflächen der Wafer. Hydroxylradikale, die in der Ozon-Wasser-Molekülschicht mit Wassermolekülen **161** und Ozonmolekülen **162** erzeugt werden, reagieren schneller und aktiv mit Resistschichten **160**, die an den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet sind, als Hydroxylradikale, die durch Auflösen des Ozongases

106 in der Reinwasserschicht erzeugt werden.

Die Wassermolekülschicht mit hoher Dichte mit Wassermolekülen **161** kann leicht ausgebildet werden. Wenn Ozonmoleküle **162** in geeigneter Weise mit der hochdichten Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** vermischt werden, tritt eine aktive Reaktion auf, die Wassermoleküle **161** und die Ozonmoleküle **162** werden vermischt, und eine große Anzahl von Hydroxylradikalen wird in der Ozon-Wasser-Molekülschicht erzeugt. Die Auflösungskraft der Reinwasserschicht verringert sich mit einer Erhöhung der Temperatur, und es ist schwierig, das Ozongas **106** in einer Reinwasserschicht mit hoher Temperatur aufzulösen. Andererseits verringert sich die Kapazität der Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** zum Erhalten von Ozonmolekülen **162** nicht signifikant, auch wenn die Temperatur der Wafer **W** und die Umgebung, welche die Wafer **W** umgibt, hoch ist. Der Reinigungsvorgang unter Verwendung der Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen und Ozonmolekülen kann in einer Umgebung mit einer Temperatur höher als derjenigen einer Umgebung durchgeführt werden, bei welcher der Vorgang unter Verwendung der ozonhaltigen Wasserschicht, die durch Auflösen des Ozongases **106** in einer Reinwasserschicht ausgebildet wird, durchgeführt wird. Eine Umgebung mit einer höheren Temperatur macht die Erzeugung der Hydroxylradikale und die chemische Wirkung der Hydroxylradikale aktiver. Folglich kann der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon schnell bei einer hohen Reaktionsrate durchgeführt werden.

Das Ozongas **106** wird durch die Ozongas-Zuführleitung **161** zur Zuführung von Ozonmolekülen fortlaufend zu der Wassermolekülschicht zugeführt. Somit wird die Wassermolekülschicht mit Ozonmolekülen aufgefüllt, und mit Hydroxylradikalen, wenn die Ozonmoleküle und die Hydroxylradikale, die in der Wassermolekülschicht enthalten sind, verbraucht werden. Folglich können hinreichend neue Ozonmoleküle und hinreichend neue Hydroxylradikale schnell zugeführt werden, um die Resistschichten **160** zu bearbeiten, und somit kann eine hohe Reaktionsrate aufrechterhalten werden. Vorzugsweise werden die Wassermolekülschicht und die Ozon-Wasser-Molekülschicht in einer Dichte ausgebildet, die keine Wassertropfen ausbildet. Der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon kann durch Erwärmen der Wafer **W** auf eine Temperatur höher als der Taupunkt des Dampfes **104** und in einem Temperaturbereich, in dem die Oxidationsreaktion aktiv voranschreitet, unterstützt werden.

Nachdem die Resistschichten **160** in wasserlösliche Schichten verändert wurden, wird Reinwasser durch die Reinwasser-Zuführdüsen **155** gegen die wasserlöslichen Schichten zum Abspülen eingespritzt, und N_2 -Gas (Inertgas) wird durch die Inertgas-Zuführdüsen **161** gegen die Wafer **W** zum Entfernen von Wassertropfen von den Wafern **W** zum Trocknen ausgespritzt. Nachfolgend werden die Wafer **W** aus der Reinigungsvorrichtung **100** genommen. Die Wafer **W** können aus der Reinigungsvorrichtung **100** genommen werden, nachdem die Resistschichten **160** entfernt wurden, ohne selbige abzuspülen und zu trocknen, und die Wafer **W** können durch eine Abspülvorrichtung abgespült werden, und durch eine Trocknungsvorrichtung getrocknet werden. Nachdem die bearbeiteten Wafer **W** aus der Reinigungsvorrichtung **100** genommen wurden, werden fünfzig Wafer **W**, die durch den nächsten Bearbeitungszyklus zu bearbeiten sind, in die Reinigungsvorrichtung **100** getragen, und werden dem Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon unterworfen.

Es ist möglich, dass der Dampf **104** in Wassertropfen an dem Waferschiffchen **6** kondensiert, oder das Waferschiffchen **6** mit Wassertropfen genässt wird, wenn die Wafer, die

an dem Waferschiffchen **6** gehalten werden, zu der nächsten Bearbeitungsvorrichtung übertragen werden, wie z. B. einer Abspülvorrichtung, nachdem der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon vervollständigt ist. Wenn ein Waferschiffchen **6**, das so mit Wasser benässt ist, zum Halten der Wafer **W**, die zu bearbeiten sind, verwendet wird, werden die Oberflächen der Wafer **W** mit Wasser genässt. Wie oben erwähnt, reagieren Wasserstoffradikale, die in der Ozon-Wasser-Molekülschicht mit Wassermolekülen **161** und Ozonmolekülen **162** erzeugt werden, effektiver mit den Resistschichten **160** als diejenigen, die in ozonhaltigen Wasserschichten erzeugt werden, die durch Auflösen des Ozongases **106** in der Reinwasserschicht erzeugt werden. Um zu vermeiden, dass Wafer **W**, die zu bearbeiten sind, an dem mit Wasser benässen Waferschiffchen **6** gehalten werden, bringt die Inertgas-Zuführeinheit **109** heißes N₂-Gas **108** auf das Waferschiffchen **6** auf, um das Waferschiffchen **6** zu trocknen, bevor fünfzig neue Wafer **W** an das Waferschiffchen **6** geladen werden. Folglich werden Wassertropfen, die an dem Waferschiffchen **6** verbleiben, entfernt, und die Auflösung des Ozongases **106** in Reinwasserschichten kann vermieden werden.

Somit bildet das Reinigungsverfahren die hochdichte Ozon-Wasser-Molekülschicht mit Wassermolekülen **161** und Ozonmolekülen **162** an den Oberflächen der Wafer **W** unmittelbar vor der Bearbeitung der Wafer **W** und verwendet im Wesentlichen sämtliche Hydroxylradikale, die in der Ozon-Wasser-Molekülschicht erzeugt werden, bevor die Hydroxylradikale verschwinden. Folglich können die Wafer **W** wirksam durch das Reinigungsverfahren unter Verwendung von Ozon bearbeitet werden. Die Hochtemperaturumgebung aktiviert die Wechselwirkung zwischen den Wassermolekülen **161** und den Ozonmolekülen **162** zur Unterstützung der Erzeugung von Hydroxylradikalen und der Reaktion von Hydroxylradikalen mit den Resistschichten **160** in dem Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon. Somit können die Resistschichten **160** vollständig entfernt werden. Die Reinigungsvorrichtung **100**, welche die vorliegende Erfindung verkörpert, ist in der Lage, das genannte Reinigungsverfahren in geeigneter Weise durchzuführen.

Bei dem Vorgang der Durchführung des Reinigungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung unter Verwendung von Ozon werden verschiedene Reaktionen zusätzlich zu dem Mischen der Wassermoleküle **161** und der Ozonmoleküle **162** durchgeführt. Beispielsweise werden der Dampf **104** und das Ozongas **106** in dem Bearbeitungsbehälter **102** zur Erzeugung eines gemischten Gases vermischt. Eine große Anzahl von freien Hydroxylradikalen und ähnlichen werden in dem gemischten Gas durch thermische Zerlegung und Zusammenstöße erzeugt. Wenn das gemischte Gas die Resistschichten **160** berührt, die an den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet sind, zerlegt das gemischte Gas ähnlich zu der Ozon-Wasser-Molekülschicht mit Wassermolekülen **161** und Ozonmolekülen **162** durch Oxidationsreaktion das Resist, das die Resistschichten **160** ausbildet, in Carbonsäure, Kohlendioxid, Wasser und dergleichen. Somit werden eine große Anzahl von Hydroxylradikalen in dem gemischten Gas unmittelbar bevor das gemischte Gas in Berührung mit den Wafern **W** kommt, erzeugt, und die Hydroxylradikale reagieren unmittelbar mit den Resistschichten **160** zur Ausübung einer hohen Bearbeitungsfähigkeit.

Eine Reinigungsvorrichtung **170** in einer noch weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird unter Bezugnahme auf die Fig. 11 erklärt, in der Teile, die zu denjenigen, die in Fig. 9 gezeigt sind, ähnlich sind oder diesen entsprechen, mit den gleichen Referenzzeichen bezeichnet sind, und eine Beschreibung derselben ist zur Vermeidung

von Wiederholungen weggelassen.

Bei der in Fig. 9 gezeigten Reinigungsvorrichtung **100** wird die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **102** durch das Ablassrohr **123** abgelassen, das mit den Ablass-Sammelrohren **122** verbunden ist. Die Reinigungsvorrichtung **170**, die in Fig. 11 gezeigt ist, weist ein Ablassrohr **123**, das mit einem Bearbeitungsbehälter **102** verbunden ist und mit einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **171** versehen ist, um den Druck in dem Bearbeitungsbehälter **102** optional anzupassen, auf. Die Strömungs-Steuerungseinrichtung **171** wird durch eine Steuerungseinheit **121** gesteuert. Ein Drucksensor **172**, der auf den Bearbeitungsbehälter **102** gesetzt ist, misst den Druck in dem Bearbeitungsbehälter **102** und gibt ein Drucksignal, das den Druck in dem Bearbeitungsbehälter **102** darstellt, an die Steuerungseinheit **121**. Die Steuerungseinheit **121** steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung **171** anhand des Drucks, der durch den Drucksensor **172** gemessen wurde, um die Strömungsrate des Gases, das durch das Ablassrohr **123** strömt, zu regulieren. Eine Ozongasquelle **140** führt Ozongas bei einem Zufuhrdruck von 196 kPa zu. Somit wird eine unter Druck gesetzte Umgebung von 196 kPa in dem Bearbeitungsbehälter **102** aufrechterhalten.

In der Reinigungsvorrichtung **170** wird der Dampf **104** außerhalb des Bearbeitungsbehälters **102** erzeugt, und der Dampf **104** wird in den Bearbeitungsbehälter **102** zugeführt. Eine Dampfzuführeinheit **175** weist eine Dampfquelle **176**, die den Dampf **104** erzeugt, eine Dampf-Zuführleitung **177** zum Tragen des Dampfes **104** zu dem Bearbeitungsbehälter **102** und Dampf-Zuführdüsen **178** auf, durch welche der Dampf **104** in den Bearbeitungsbehälter **102** gespritzt wird. Die Dampfquelle **176** weist ähnlich zu denjenigen bei den vorangehenden Ausführungsformen eine heiße Platte, eine Heizeinrichtung, usw. auf. Die Dampf-Zuführleitung **177** ist mit einem Abschlussventil **179** und einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **180** versehen. Die Steuerungseinheit **121** steuert das Abschlussventil **179** und die Strömungs-Steuerungseinrichtung **180** zum Regulieren der Strömungsrate des Dampfes **104** durch die Dampf-Zuführleitung **177**. Da keine Dampfzuführeinrichtung in dem Bearbeitungsbehälter **102** angeordnet werden muss, kann die Reinigungsvorrichtung **170** in eine kompakte Gestaltung ausgebildet werden.

Eine Bodenabdeckung **181** ist mit dem unteren offenen Ende des Bearbeitungsbehälters **102** verbunden, wobei eine Dichtung **182** zwischen dem Bearbeitungsbehälter **102** und der Bodenabdeckung **181** eingeschichtet ist. Ein Ablassrohr **183**, das mit einem Abschlussventil **184** versehen ist, ist mit der Bodenabdeckung **181** verbunden.

Das Reinigungsverfahren, das durch die Reinigungsvorrichtung **170** durchgeführt wird, wird nachfolgend beschrieben. Wafer **W** mit einer gewöhnlichen Temperatur von beispielsweise 23°C werden in dem Bearbeitungsbehälter **102** angeordnet. Die Wafer **W** werden auf eine vorbestimmte Temperatur durch eine Lampen-Heizeinrichtung **120** erwärmt, die Wärme von beispielsweise 115°C ausstrahlt. Ozongas **106** mit beispielsweise 196 kPa wird durch die Ozongas-Zuführeinheit **107** in den Bearbeitungsbehälter **102** zugeführt. Gleichzeitig wird heißes N₂-Gas **108**, mit beispielsweise 150°C, auf die Wafer **W** durch eine Inertgas-Zuführeinheit **109** aufgebracht, um die Wafer **W** schnell auf die vorbestimmte Temperatur zu erwärmen.

Die Zuführung von heißem N₂-Gas wird angehalten, nachdem die Wafer **W** auf die vorbestimmte Temperatur erwärmt wurden, und der Dampf **104** wird durch die Dampfzuführeinheit **175** in den Bearbeitungsbehälter **102** zugeführt. Die Steuerungseinheit **121** steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung **171**, die in dem Ablassrohr **123** angeordnet ist, um eine Atmosphäre in dem Bearbeitungsbe-

hälter **102** bei einer geringen Ablassrate abzulassen, um das Innere des Bearbeitungsbehälters **102** bei 196 kPa zu halten. Ozongas **106** wird somit zugeführt, um die Ozonkonzentration der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **102** zu vergrößern.

Eine hochdichte Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** wird an den Oberflächen der Wafer **W**, wie vorangehend in Zusammenhang mit **Fig. 10** erwähnt, ausgebildet. Da das Ozongas **106** vorher in den Bearbeitungsbehälter **102** zugeführt wird, werden Ozonmoleküle **162** unmittelbar in die Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **162** gemischt. Somit kann eine Ozon-Wasser-Molekülschicht ausgebildet werden, und eine große Anzahl von Hydroxylradikale kann in der Ozon-Wasser-Molekülschicht erzeugt werden. Die Hydroxylradikale, die in der Ozon-Wasser-Molekülschicht erzeugt werden, arbeiten wirksam beim schnellen Durchführen des Reinigungsvorgangs unter Verwendung von Ozon.

Wenn der Dampf **104** auf die Wafer **W** aufgebracht wird, die bei der gewöhnlichen Temperatur gehalten werden, kondensiert der Dampf **104** an den Oberflächen der Wafer **W**, und eine große Anzahl von Wassertropfen bildet sich an den Oberflächen der Wafer **W**, weil der Unterschied zwischen der Temperatur der Wafer **W** und dem Taupunkt des Dampfes **104** groß ist. Die Wassertropfen bilden eine dicke Reiwasserschicht an den Oberflächen der Wafer **W**, so dass die Bearbeitungsfähigkeit verringert wird. Da jedoch der Dampf **104** auf die Wafer **W** nach dem Erwärmen der Wafer **W** auf die vorbestimmte Temperatur aufgebracht wird, kann eine hochdichte Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** sicher ausgebildet werden, und die Verringerung der Bearbeitungsfähigkeit kann verhindert werden. Da die Wafer **W** in der Umgebung mit 196 kPa angeordnet werden, kann eine vergrößerte Anzahl von Ozonmolekülen **162** in die Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** gemischt werden, um eine vergrößerte Anzahl von Hydroxylradikalen zu erzeugen. Der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon kann in einer Umgebung mit einer erhöhten Temperatur durchgeführt werden, was die Bearbeitungsfähigkeit weiter erhöht.

Nachdem Resistsschichten **160**, die an den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet sind, in wasserlösliche Schichten **160a** verändert wurden, werden die Wafer **W** aus dem Bearbeitungsbehälter **102** genommen und zu einer Abspülvorrichtung und einer Trocknungsvorrichtung für ein nachfolgendes Abspülen und Trocknen getragen. Währenddessen wird die Zuführung des Dampfes **104** und des Ozongases **106** in den Bearbeitungsbehälter **102** angehalten, Flüssigkeiten, die in dem Bearbeitungsbehälter **102** verbleiben, werden durch das Ablassrohr **183** abgelassen, und die Strömungs-Steuerungseinrichtung **171** ist vollständig geöffnet, und N₂-Gas wird durch den Bearbeitungsbehälter **102** durch die Inertgas-Zuführeinheit geblasen, um den Bearbeitungsbehälter **102** von dem Ozongas **106** auszublasen und das Innere des Bearbeitungsbehälters **102** zu trocknen. Wie oben erwähnt, wird ein Waferschiffchen **6** getrocknet. Dann werden Wafer **W** mit gewöhnlicher Temperatur, die durch den nächsten Reinigungszyklus zu bearbeiten sind, in dem Bearbeitungsbehälter **102** angeordnet. Wenn der Dampf **104** in dem Bearbeitungsbehälter **102** verbleibt, wird sich eine große Menge von Wassertropfen an den Wafern **W** mit gewöhnlicher Temperatur ausbilden. Da der Bearbeitungsbehälter **102** und die Dampfquelle **176** voneinander getrennt sind, und die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **102** leicht ersetzt werden kann, kann die Ausbildung von Wassertropfen an den Oberflächen der Wafer **W** mit der gewöhnlichen Temperatur, die in dem Bearbeitungsbehälter **102** angeordnet wurden, verhindert werden, und die Oberflächen

können trocken gehalten werden, bis der Dampf **104** in den Bearbeitungsbehälter **102** zugeführt wird.

Wie aus der vorangehenden Beschreibung ersichtlich wird, verwendet das Reinigungsverfahren heißes N₂-Gas **108**, um die Wafer **W** schnell auf eine vorbestimmte Temperatur zu erwärmen, und führt das Ozongas **106** in den Bearbeitungsbehälter **102** zu, bevor der Dampf **104** in den Bearbeitungsbehälter **102** zugeführt wird, um eine Ozon-Wasser-Molekülschicht auszubilden, und Hydroxylradikale in einer kurzen Zeit zu erzeugen. Folglich kann der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon schnell durchgeführt werden, und der Durchsatz der Reinigungsvorrichtung kann vergrößert werden. Die Umgebung, welche die Wafer umgibt, wird unter Druck gesetzt, um die Menge von Ozonmolekülen **162**, die in die Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** gemischt wird, zu erhöhen, und eine Bearbeitung der Wafer **W** in einer Umgebung bei einer erhöhten Temperatur zu ermöglichen. Folglich können die Resistsschichten **160** von den Wafern **W** bei einer vergrößerten Entfernungseffizienz entfernt werden, und die Wirkung des Reinigungsverfahrens unter Verwendung von Ozon kann weiter verbessert werden.

Die Reinigungsvorrichtung **170** führt den Dampf **104** in den Bearbeitungsbehälter **2** durch die Dampf-Zuführleitung **177** zu. Deshalb kann die Menge von Feuchtigkeit, die in dem Bearbeitungsbehälter **102** enthalten ist, leicht angepasst werden, und das Innere des Bearbeitungsbehälters **102** kann getrocknet werden. Die in der Bearbeitungskammer **102** angeordneten Wafer **W** werden nicht durch den Wärmeeinfluss der Heizeinrichtung der Dampfquelle **176** beeinflusst. Demzufolge werden die Wafer **W** nicht erwärmt, und die Temperatur der Wafer **W** erhöht sich nicht übermäßig über eine erforderliche Temperatur hinaus. Deshalb ist es möglich, beispielsweise einen unerwünschten Zustand zu vermeiden, bei dem die Wafer **W** auf eine übermäßig hohe Temperatur erwärmt werden, Wassermoleküle **161** Schwierigkeiten haben, an den Oberflächen der Wafer **W** zu haften, die Wassermolekülschicht nicht ausgebildet werden kann, und der Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon nicht erreicht werden kann. Die Reinigungsvorrichtung **170** ist ähnlich zu der Reinigungsvorrichtung **100**, die in **Fig. 9** gezeigt ist, in der Lage, das Waferschiffchen **6** zu trocknen, um die Auflösung des Ozongases **106** in Wassertropfen zu vermeiden. Das Ablassrohr **123** der Reinigungsvorrichtung **100** kann in ähnlicher Weise wie das Ablassrohr **123** der Reinigungsvorrichtung **170** mit einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **171** versehen sein, um den Druck in dem Bearbeitungsbehälter **102** so zu regulieren, dass die Umgebung, welche die Wafer **W** umgibt, unter Druck gesetzt wird.

Eine Reinigungsvorrichtung **190** in einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die **Fig. 12** beschrieben. Wie in **Fig. 12** gezeigt ist, weist die Reinigungsvorrichtung **190** einen Bearbeitungsbehälter **102**, einen Abspültank **191** und eine Durchgangseinheit **292** auf, die zwischen dem Bearbeitungsbehälter **102** und dem Abspültank **191** angeordnet ist. Die Reinigungsvorrichtung **190** kann einen Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon und einen Abspülvorgang durchführen.

Eine Ozongas-Zuführeinheit **107**, eine Dampf-Zuführeinheit **175** und eine Inertgas-Zuführeinheit **109** sind mit dem Bearbeitungsbehälter **102** zur Zuführung des Ozongases **106**, des Dampfes **104** und des N₂-Gases oder heißen N₂-Gases in eine Bearbeitungskammer (eine erste Bearbeitungskammer) **115**, die durch den Bearbeitungsbehälter **102** definiert wird, verbunden. Der Bearbeitungsbehälter **102** weist ein offenes Bodenende auf, das sich in einen Durchgangsraum **221** öffnet, der in der Durchgangseinheit **292**

ausgebildet ist.

Der Abspültank **191** weist einen inneren Tank **194**, der eine Abspülkammer (eine zweite Bearbeitungskammer) **193** definiert, einen mittleren Tank **195**, der einen oberen Endteil des inneren Tanks **194** umgibt, und einen äußeren Tank **196** auf, der einen oberen Endteil des mittleren Tanks **195** umgibt.

Eine Reinwasser-Zuführeinheit **296**, d. h. ein Bearbeitungsflüssigkeits-Zuführsystem, führt Reinwasser (DIW), d. h. eine Bearbeitungsflüssigkeit, in die Abspülkammer **193** zu. Die Reinwasser-Zuführeinheit **296** weist eine Reinwasser-Zuführleitung **200** zum Tragen von Reinwasser und Reinwasser-Zuführdüsen **211** zum Ausspritzen von Reinwasser, das durch die Reinwasser-Zuführleitung **200** getragen wird, in die Abspülkammer **193** auf. Die Reinwasser-Zuführleitung **200** weist ein Einlassende auf, das mit einer Reinwasserquelle **210** verbunden ist. Die Reinwasser-Zuführleitung **200** ist mit einem Abschlussventil **212** und einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **213** versehen. Eine Steuerungseinheit **121** steuert das Abschlussventil **212** und die Strömungs-Steuerungseinrichtung **213**.

Das offene obere Ende des inneren Tanks **194** öffnet sich in den Durchgangsraum **221**, der in der Durchgangseinheit **292** ausgebildet ist. Ein Ablassrohr **215**, das mit einem Abschlussventil **216** versehen ist, ist mit einem mittleren Teil der Bodenwand des inneren Tanks **194** zum Ablassen von benutztem Reinwasser von der Abspülkammer **193** verbunden. Der mittlere Tank **195** sammelt Reinwasser, das über den inneren Tank **194** übergeflossen ist, und lässt selbiges durch ein Überflussrohr **217** ab, das mit einem Abschlussventil **218** versehen ist und mit seinem Boden verbunden ist. Reinwasser ist zu sämtlichen Zeitpunkten in dem äußeren Tank **196** enthalten. Der äußere Tank **196** ist mit einer ringförmigen Dichtungsplatte **219** versehen. Das obere Ende der Dichtungsplatte **219** ist in nahem Kontakt mit der Bodenfläche eines Konstruktionselements der Durchgangseinheit **292**. Somit dient der äußere Tank **196** als ein Dichtungselement unter Verwendung von Reinwasser zum Isolieren des Inneren des Abspültanks **191** von dem äußeren Raum.

Die Durchgangseinheit **292** ist mit einem Schließer **220** zum Isolieren der Ozongas-Bearbeitungskammer **115** und der Abspülkammer **193** voneinander versehen. Der Schließer **220** ist in der Lage, vertikal und horizontal durch einen Schließer-Betätigungsmechanismus, der nicht gezeigt ist, bewegt zu werden. Das Innere der Durchgangseinheit **292** ist im Wesentlichen in den Durchgangsraum **221** und einen Schließer-Unterbringungsraum **222** geteilt, in den der Schließer **220** bewegt wird, um den Durchgangsraum **221** zu öffnen. Wenn der Schließer-Betätigungsmechanismus den Schließer **220** zu dem Durchgangsraum **221** bewegt, werden die Ozon-Bearbeitungskammer **115** und die Abspülkammer **193** voneinander isoliert. Wenn der Schließer-Betätigungsmechanismus den Schließer **220** zu dem Schließer-Unterbringungsraum **222** bewegt, werden die Ozon-Bearbeitungskammer **115** und die Abspülkammer **193** verbunden.

Inertgas-Zuführdüsen **223** sind in Abschnitte eines Randes eingebettet, der eine Öffnung in der Bodenwand **292a** der Durchgangseinheit **292** definiert. Ein N₂-Gas-Vorhang ist über der Abspülkammer **193** durch Ausspritzen von N₂-Gas durch die Inertgas-Zuführdüsen **223** ausgebildet. Der Schließer **220** und der N₂-Gas-Vorhang verhindern die Diffusion einer Umgebung in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** in die Abspülkammer **193** und das Strömen eines Verlustes von der Abspülkammer **193** in die Ozon-Bearbeitungskammer **115**.

Die Durchgangseinheit **292** weist einen Ablasssteil **225** auf, der dem Schließer-Unterbringungsraum **222** unterliegt. Ein Ablassrohr, das mit einem Abschlussventil **227** verse-

hen ist, ist mit dem Ablasssteil **225** verbunden. Auch wenn ein Dampf, der in dem Abspültank **191** erzeugt wird, in Flüssigkeitstropfen an der Bodenfläche des Schließers **220** kondensiert, wenn dieser in einer Schließposition angeordnet ist, können die Flüssigkeitstropfen zur Außenseite durch einen (nicht gezeigten) Ablassdurchgang, der in der Durchgangseinheit **292** ausgebildet ist, abgelassen werden. Wenn der Schließer **220** mit Flüssigkeitstropfen benässt ist und in einer offenen Position in dem Schließer-Unterbringungsraum **222** angeordnet ist, tropfen die Flüssigkeitstropfen auf den Ablasssteil **225** und werden durch das Ablassrohr **226** abgelassen.

Ein Waferschiffchen **6** kann vertikal bewegt werden, und zwar durch einen Hebemechanismus, der nicht gezeigt ist, um die an dem Waferschiffchen **6** gehaltenen Wafer **W** zwischen der Ozon-Bearbeitungskammer **115** und der Abspülkammer **193** zu bewegen. Die an dem Waferschiffchen **6** gehaltenen und zu einer oberen Position in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** angehobenen Wafer **W** sind in **Fig. 12** durch durchgezogene Linien angedeutet. Die an dem Waferschiffchen **6** gehaltenen und zu einer niedrigeren Position in der Abspülkammer **193** abgesenkten Wafer **W** sind durch eine Strich-Zweipunkt-Linie angezeigt. Die Reinigungsvorrichtung **190** bewegt das Waferschiffchen **6** vertikal, um die Wafer **W** in entweder der Ozon-Bearbeitungskammer **115** oder der Abspülkammer **193** anzuordnen. Die Reinigungsvorrichtung **190** führt einen Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon und einen Abspülvorgang fortlaufend in einem geschlossenen Raum durch.

Der Bearbeitungsbehälter **102** und der Abspültank **191** sind in einem Gehäuse **230** enthalten. Die Auslässe der Ablassrohre **215**, **217** und **226** öffnen sich in das Gehäuse **230**. Eine Ablassleitung **231**, die mit einem Abschlussventil **232** versehen ist, ist mit der Bodenwand des Gehäuses **230** verbunden. Die Ablassleitung **231** ist mit einem Ablasssystem der Anlage verbunden. Wenn das Abschlussventil **232** geöffnet ist, wird Reinwasser, das durch die Ablassrohre **215**, **217** und **226** in das Gehäuse **230** abgelassen wird, durch die Ablassleitung **231** in das Ablasssystem der Anlage abgelassen. Eine Entladeleitung **233** ist mit dem Gehäuse **230** verbunden, um eine Umgebung, welche den Bearbeitungsbehälter **102** und den Abspültank **191** umgibt, von dem Gehäuse **230** abzulassen. Beispielsweise kann, wenn ein obere Abdeckung **111** entfernt ist, um Wafer **W** in oder aus dem Bearbeitungsbehälter **102** zu tragen, die Diffusion einer Umgebung in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** und Dämpfe, die in der Abspülkammer **193** erzeugt werden, in dem äußeren Raum verhindert werden.

Ein Waferbearbeitungsverfahren, das durch die Reinigungsvorrichtung **190** durchgeführt wird, wird nachfolgend unter Bezugnahme auf ein Flussdiagramm, das in **Fig. 13** gezeigt ist, erklärt. Die obere Abdeckung **111** ist entfernt, und fünfzig Wafer **W** mit Oberflächen, die jeweils mit beispielsweise Resistschichten **160** (vgl. **Fig. 10**) überzogen sind, werden in Schritt S1 in den Bearbeitungsbehälter **102** der Reinigungsvorrichtung **190** getragen. Die obere Abdeckung **111** wird auf den Bearbeitungsbehälter **102** gelegt, um den Bearbeitungsbehälter **102** in Schritt S2 zu schließen. Dann wird der Schließer **220** geschlossen, und ein N₂-Gas-Vorhang wird zum Ausspritzen von N₂-Gas durch die Inertgas-Zuführdüsen **223** zum Isolieren einer Umgebung in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** und einer Umgebung in der Abspülkammer **193** voneinander ausgebildet.

Nachfolgend wird ein Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** in Schritt S3 durchgeführt. Die Wafer **W** werden auf eine vorbestimmte Temperatur durch die Lampen-Heizeinrichtung **120** erwärmt. Die Dampf-Zuführeinheit **175** führt den

Dampf **104** in die Ozon-Bearbeitungskammer **115** zu, um eine Wassermolekülschicht mit Wassermolekülen **161** an der Oberfläche der Wafer **W** auszubilden. Die Ozongas-Zuführereinheit **107** führt das Ozongas **106** in die Ozon-Bearbeitungskammer **115** zu. Folglich werden Ozonmoleküle **162** in die Wassermolekülschicht gemischt, und eine große Anzahl von Hydroxylradikalen wird erzeugt, und das Resist, das die Resistsschichten **160** bildet, wird durch die Oxidationsreaktion vollständig zerlegt, um die Resistsschichten **160** in wasserlösliche Schichten zu verändern.

Die Zuführung des Dampfes **104** und des Ozongases **106** wird angehalten, um das Reinigungsverfahren unter Verwendung von Ozon anzuhalten. Dann werden die Wafer **W** zu der Abspülkammer **193** übertragen und werden in Schritt S4 einem Abspülvorgang unterworfen. Die Reinwasser-Zuführereinheit **296** führt vorher Reinwasser durch die Reinwasser-Zuführdüsen **211** in die Abspülkammer **193** zu, um die Abspülkammer **193** mit Reinwasser anzufüllen. Dann wird der Schließer **220** geöffnet, das Waferschiffchen **6** wird abgesenkt, um die Wafer **W** schnell in der Abspülkammer **193** anzuordnen, wobei die Reinigungsvorrichtung **190** geschlossen gehalten wird. Somit können die Wafer **W** in Reinwasser in einer kurzen Zeitdauer eingetaucht werden, ohne zu der Umgebung freigelegt zu sein, und ein Abspülvorgang wird begonnen. Wie oben erwähnt, können, da die Resistsschichten **160** in wasserlösliche Schichten **160a** verändert werden, die wasserlöslichen Schichten **160a** leicht in der Abspülkammer **193** entfernt werden. Nach der Vollendung des Abspülvorgangs wird das Waferschiffchen **6** angehoben, um die Wafer **W** zu der Ozon-Bearbeitungskammer **115** zu übertragen. Dann wird die obere Abdeckung **11** in Schritt S5 entfernt, die Wafer **W** werden aus dem Bearbeitungsbehälter **102** genommen, und die Wafer **W** werden von der Reinigungsvorrichtung **190** in Schritt S6 weggetragen. Wenn die obere Abdeckung **111** entfernt wird, wird die Umgebung, die den Bearbeitungsbehälter **102** und den Abspültank **191** umgibt, durch das Gehäuse **230** gesaugt, um die Verteilung der Umgebung der Ozon-Bearbeitungskammer **115** und der Umgebung in der Abspülkammer **193** in die Umgebung zu verhindern. Dann wird N₂-Gas mit einer gewöhnlichen Temperatur in die Ozon-Bearbeitungskammer **115** durch die Inert-Zuführereinheit **109** zugeführt, um die Umgebung in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** mit N₂-Gas zu ersetzen, und heißes N₂-Gas wird auf das Waferschiffchen **6** aufgebracht, um selbiges als Vorbereitung für die Bearbeitung weiterer fünfzig Wafer durch den nächsten Bearbeitungszyklus zu trocknen.

Die Wafer **W** werden von der Reinigungsvorrichtung **190** zu einer anderen Waferbearbeitungsvorrichtung getragen, die beispielsweise einen Vorgang zur chemischen Behandlung mittels Flüssigkeit, einen endgültigen Abspülvorgang und einen Trocknungsvorgang durchführt. Die Wafer **W** werden in einem Abspültank abgespült. Der Vorgang zur chemischen Bearbeitung mittels einer Flüssigkeit ist beispielsweise ein SCl-Vorgang (ein Ammoniak-Vorgang), der Ammoniakdampf (NH₄OH-Dampf) und Dampf auf die Wafer **W** aufbringt, um Teilchen und organische Unreinheiten von den Oberflächen der Wafer **W** zu entfernen. Die andere Waferbearbeitungsvorrichtung führt den SCl-Vorgang in einem Bearbeitungsbehälter aus, führt den Abspülvorgang in einem Abspültank aus, und führt den endgültigen Abspülvorgang und den Trocknungsvorgang in dem Bearbeitungsbehälter aus. Natürlich können der Vorgang zur chemischen Behandlung mittels Flüssigkeit, der Abspülvorgang, der endgültige Abspülvorgang und der Trocknungsvorgang jeweils durch getrennte Bearbeitungsvorrichtungen durchgeführt werden, und die Wafer **W** können nacheinander zu diesen Vorrichtungen übertragen werden.

Die Reinigungsvorrichtung ist in der Lage, nacheinander den Vorgang unter Verwendung von Ozon und den Abspülvorgang auszuführen, und kann in eine kleine Konstruktion ausgebildet werden. Die Wafer **W** müssen während der Zeit von dem Beginn des Vorgangs unter Verwendung von Ozon bis zur Vollendung des Abspülvorgangs nicht aus der Reinigungsvorrichtung **190** entnommen werden. Deshalb kann das Freilegen der Wafer **W** zu der Umgebung nach dem Vorgang unter Verwendung von Ozon vermieden werden. Folglich ist es möglich, die Ausbildung von Oxidschichten an den Oberflächen der Wafer **W** durch natürliche Oxidation zu vermeiden, und ferner eine Härtung und Veränderung der wasserlöslichen Schichten **160a** (vgl. Fig. 10) in unlösliche Schichten infolge des Freilegens der Wafer **W** zu der Umgebung zu vermeiden. Ferner ist es möglich, die Änderung der verschiedenen Reaktionsprodukte, die an den Oberflächen der Wafer **W** durch den Vorgang unter Verwendung von Ozon in unterschiedliche Substanzen, wie z. B. Verschmutzungen, infolge des Freiliegens zu der Umgebung erzeugt werden, zu vermeiden. Folglich kann der Abspülvorgang in zufriedenstellender Weise erreicht werden. Die Wafer **W** können unmittelbar nach der Vollendung des Vorgangs unter Verwendung von Ozon durch ein schnelles Absenken und Abspülen der Wafer **W** dem Abspülvorgang unterworfen werden, und somit bearbeitet die Reinigungsvorrichtung **190** die Wafer **W** mit einem hohen Durchsatz. Der Reinigungsvorrichtung **190** ist ähnlich zu den Reinigungsvorrichtungen **100** und **170** in der Lage, das Waferschiffchen **6** zu trocknen.

Obwohl die Ozon-Bearbeitungskammer **115** und die Abspülkammer **193** der Reinigungsvorrichtung **190** in vertikaler Anordnung angeordnet sind, können die Ozon-Bearbeitungskammer **115** und die Abspülkammer **193** für den gleichen Zweck in horizontaler Anordnung angeordnet sein.

Eine Reinigungsvorrichtung **270** in einer noch weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 14 beschrieben. Die Reinigungsvorrichtung **270** weist ähnlich zu der in Fig. 11 gezeigten Reinigungsvorrichtung **170** eine Ablassleitung **123**, die mit einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **171** versehen ist, und einen Bearbeitungsbehälter **102** auf, der mit einem Drucksensor **172** versehen ist. Eine Steuerungseinheit **121** steuert die Strömungs-Steuerungseinrichtung **171** auf der Basis eines Drucksignals, das durch den Drucksensor **172** geschaffen wird, um die Strömungsrate eines durch die Ablassleitung **123** abgelassenen Gases zu regulieren.

Die Umgebung in der Ozon-Bearbeitungskammer **115** der Reinigungsvorrichtung **270** kann unter Druck gesetzt werden. Die Reinigungsvorrichtung **270** ist ähnlich wie die Reinigungsvorrichtung **170** in der Lage, eine vergrößerte Menge von Ozonmolekülen **162** in eine Wassermolekülschicht von Wassermolekülen **161** zu mischen, und eine Bearbeitung in einer Hochtemperaturumgebung zur Verstärkung der Bearbeitungsfähigkeit zu ermöglichen. Die Reinigungsvorrichtung **270** ist, ähnlich zu den Reinigungsvorrichtungen **100**, **170** und **190**, in der Lage, ein Waferschiffchen **6** zu trocknen.

Eine kleine Menge von Katalysatorgas, wie z. B. NO_x-Gas kann in den Bearbeitungsbehälter zugeführt werden, um die Erzeugung von Hydroxylradikalen durch Aktivierung der Oxidationsreaktion zu unterstützen.

BEISPIEL 2

Ergebnisse eines Testbetriebs der Reinigungsvorrichtung **270** in der genannten Ausführungsform werden nun erläutert. Wafer, die mit einer Schicht aus organischem Material (BARC) überzogen sind, wurden einem Reinigungsvorgang

unterworfen. Die Abhängigkeit der Schicht-Entfernungsrate von der Ozonkonzentration des Ozongases wurde untersucht. Messungsergebnisse waren ähnlich zu denjenigen, die in **Fig. 7** gezeigt sind, bei der die Ozonkonzentration (g/m^3 (normal)) auf der horizontalen Achse gemessen ist, und die Schicht-Entfernungsrate (nm/s) auf der vertikalen Achse gemessen ist. Wie anhand **Fig. 7** deutlich wird, wird die Schicht-Entfernungsrate mit einer Vergrößerung der Ozonkonzentration vergrößert.

Fig. 15 zeigt zum Vergleich die Entfernungsrate, die durch einen Vorgang unter Verwendung von Ozon erreicht wird, der zur Bearbeitung von Wafern in einer unter Druck gesetzten Atmosphäre durchgeführt wird, und eine Entfernungsrate, die durch eine herkömmliche chemische Flüssigkeitsbearbeitung unter Verwendung einer chemischen Flüssigkeit namens SPM (eine $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ gemischte Flüssigkeit) erreicht wird. Die Vorgänge wurden zur Entfernung einer Resistsschicht und einer Schicht aus organischem Material durchgeführt. Die Umgebung um die Wafer wurde auf 196 kPa unter Druck gesetzt, die Wafer wurden auf 110°C erwärmt, und Dampf mit 120°C wurde auf die Wafer aufgebracht. Gemäß **Fig. 15** zeigen die Balken g und i Schicht-Entfernungsraten, die durch den Vorgang unter Verwendung von Ozon, der in einer unter Druck gesetzten Umgebung durchgeführt wurde, erreicht werden, und Balken h und j zeigen Schicht-Entfernungsraten an, die durch die Bearbeitung durch Behandlung mit chemischer Flüssigkeit unter Verwendung von SPM erreicht werden. Wie in **Fig. 15** gezeigt, war die Schicht-Entfernungsrate des Vorgangs unter Verwendung von Ozon, der in der unter Druck gesetzten Umgebung durchgeführt wurde, um die Resistsschicht zu entfernen, 20 nm/s, wie durch den Balken g angezeigt ist, die Schicht-Entfernungsrate des Bearbeitungsvorgangs mit Behandlung durch chemische Flüssigkeit unter Verwendung von SPM, die durchgeführt wurde, um die Resistsschicht zu entfernen, betrug etwa 9,5 nm/s, wie durch den Balken g angezeigt ist, die Schicht-Entfernungsrate des Vorgangs unter Verwendung von Ozon, der in der unter Druck gesetzten Umgebung durchgeführt wurde, um die BARC-Schicht zu entfernen, betrug etwa 0,2 nm/s, wie durch den Balken i angezeigt ist, und die Schicht-Entfernungsrate des Vorgangs mit Bearbeitung durch chemische Flüssigkeit unter Verwendung von SPM, der durchgeführt wurde, um die BARC-Schicht zu entfernen, betrug etwa 0,05 nm/s, wie durch den Balken j angezeigt ist. Es ist anhand **Fig. 15** bekannt, dass Schichten durch den Vorgang unter Verwendung von Ozon in einer unter Druck gesetzten Umgebung bei einer hohen Schicht-Entfernungsrate entfernt werden können.

Da die Reinigungsvorrichtungen, die in den **Fig. 11, 12** und **14** gezeigt sind, die reaktive Substanz verwenden, die unmittelbar vor Beginn des Reinigungsvorganges erzeugt wird, bevor die reaktive Substanz verschwindet, sind die Reinigungsvorrichtungen in der Lage, eine hohe Bearbeitungsfähigkeit aufzuweisen und die Wafer wirksam zu bearbeiten. Das Reinigungsverfahren der vorliegenden Erfindung ist in der Lage, in einer Umgebung mit einer Temperatur höher als diejenige einer Umgebung durchgeführt zu werden, indem der Reinigungsvorgang, der eine Arbeitsflüssigkeitsschicht verwendet, die durch Auflösen eines Betriebsgases in einer Schicht eines Lösungsmittels ausgebildet wird, durchgeführt wird. Somit ist das Reinigungsverfahren der vorliegenden Erfindung in der Lage, Ablagerungen einschließlich organischer Unreinheiten, metallischer Unreinheiten, Teilchen und Oxidschichten, die durch natürliche Oxidation ausgebildet werden, von den Wafern zu entfernen. Da die reaktive Substanz, die in einer gemischten Gas-Flüssigkeits-Molekülschicht mit Molekülen des Lösungsmittels und denjenigen des Betriebsgases erzeugt

wird, für die Bearbeitung der Wafer verwendet wird, und der Lösungsmitteldampf nicht in Flüssigkeitströpfchen an der Oberfläche der Wafer kondensiert, kann eine Lösungsmittel-Molekülschicht mit hoher Dichte leicht an den Oberflächen der Wafer ausgebildet werden. Die Lösungsmittelmoleküle und die Gasmoleküle, die in der Gas-Lösungsmittel-Molekülschicht enthalten sind, wirken aktiv zusammen, um eine große Anzahl der reaktiven Substanz zu erzeugen. Deshalb kann der Vorgang schnell durchgeführt werden. Da die Fähigkeit der Lösungsmittel-Molekülschicht, Gasmoleküle zu enthalten, nicht signifikant abnimmt, auch wenn die Temperatur der Umgebung, welche die Wafer umgibt, hoch ist, kann der Vorgang in einer Hochtemperaturumgebung durchgeführt werden, um die Erzeugung der reaktiven Substanz und die Reaktion der reaktiven Substanz mit Substanzen, die an die Wafer haften, zu unterstützen.

Eine Reinigungsvorrichtung **300** in einer praxisnäheren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 16** erläutert. Wie **Fig. 16** zeigt, weist die Reinigungsvorrichtung **300** einen Bearbeitungsbehälter **302**, in dem Wafer **W** bearbeitet werden, eine Dampf-Zuführeinheit **304**, d. h. ein Lösungsmitteldampf-Zuführsystem, zum Zuführen von Dampf **303** in den Bearbeitungsbehälter **302**, eine Ozongas-Zuführeinheit **306**, d. h. ein Betriebsgas-Zuführsystem, zum Zuführen von Ozongas **305** in den Bearbeitungsbehälter **302**, eine Heißluft-Zuführeinheit **307** mit einer Heißluft-Zuführvorrichtung zum Erwärmen der Wafer **W**, die in dem Bearbeitungsbehälter **302** angeordnet sind, eine Kühlluft-Zuführeinheit **308**, d. h. ein Kühlgas-Zuführsystem, zum Zuführen von Kühlluft (Gas) in den Bearbeitungsbehälter **302**, ein Ablasssystem **309** zum Ablassen der Umgebung in den Bearbeitungsbehälter **302**, und ein Entleersystem **310** zum Entleeren von Flüssigkeit von dem Bearbeitungsbehälter **302** auf.

Wie in **Fig. 17** gezeigt ist, weist der Bearbeitungsbehälter **302** einen Behälterkörper **311** mit einer Kapazität zum Enthalten von beispielsweise fünfzig Wafern **W**, eine obere Abdeckung **312**, die getrennt an das obere Ende des Behälterkörpers **311** derart verbunden ist, dass das offene obere Ende des Behälterkörpers **311** abgedeckt wird, und eine Bodenwand **313** auf, die an das untere Ende des Behälterkörpers **311** verbunden ist. Ein Lippen-O-Ring ist zwischen dem offenen oberen Ende des Behälterkörpers **311** und der oberen Abdeckung **312** angeordnet, um den Zwischenraum zwischen dem Behälterkörper **311** und der oberen Abdeckung **312** abzudichten. Eine Dichtung **315** ist zwischen dem Behälterkörper **311** und der Bodenwand **313** angeordnet, um den Zwischenraum zwischen dem Behälterkörper **311** und der Bodenwand **313** abzudichten. Der Bearbeitungsbehälter **302** ist somit abgedichtet, um das Ausfließen einer Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** von dem Bearbeitungsbehälter **302** zu vermeiden. Der Behälterkörper **311**, die obere Abdeckung **312** und die Bodenwand **313** werden durch die Bearbeitung von Platten aus Edelstahl, wie z. B. SUS **316L** gemäß JIS, oder ähnlichem, ausgebildet. Platten mit der kleinsten zulässigen Dicke werden zur Ausbildung des Behälterkörpers **311**, der oberen Abdeckung **312** und der Bodenwand **313** verwendet, so dass der Bearbeitungsbehälter **302** eine kleine Wärmekapazität aufweist. Die Innenfläche des Bearbeitungsbehälters **302** wird durch einen Vorgang zur Verstärkung des chemischen Widerstandes endbearbeitet, um den Bearbeitungsbehälter **302** vor einem Betriebsgas zu schützen.

Wie **Fig. 18** zeigt, ist eine O-Ring-Nut **316** in einem Flansch ausgebildet, der an dem oberen Ende des Behälterkörpers **311** ausgebildet ist. In den Seitenwänden des Behälterkörpers **311** befinden sich eine Dampfzuführdüse-Aufnahmeöffnung **317**, eine Ozongaszuführdüse-Aufnahmeöff-

nung **318**, Gaszuführdüsen-Aufnahmeöffnungen **319** und **320**, eine Gasprobe-Entnahmeöffnung **321** und eine Ablasssammler-Verbindungsöffnung **322**. Eine Dampf-Zuführdüse **342**, eine Ozongas-Zuführdüse **392**, Luft-Zuführdüsen **404** sind in dem Behälterkörper **311** angeordnet und in die Dampfzuführdüsen-Aufnahmeöffnung **317**, die Ozongaszuführdüsen-Aufnahmeöffnung **318** und die Luftzuführdüsen-Aufnahmeöffnungen **319** und **320** eingeführt. Eine Probenentnahmeröhre, die nicht gezeigt ist, ist von außerhalb zu der Gasprobenentnahmeöffnung **321** verbunden, um die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** als Probe entnehmen zu können. Eine erste Ablassleitung **457** erstreckt sich durch die Ablasssammler-Verbindungsöffnung **322** in den Bearbeitungsbehälter **302** und ist mit Ablasssammlern **450** verbunden, die in dem Bearbeitungsbehälter **302** angeordnet sind. Gummi-Heizeinrichtungen **430** sind auf die Außenseitenflächen des Behälterkörpers **311** aufgebracht.

Wie in **Fig. 17** gezeigt ist, ist eine Gummi-Heizeinrichtung **431** auf die Außenfläche (die obere Fläche) der oberen Abdeckung **312** aufgebracht. Die obere Abdeckung **312** ist mit einem Fenster **323** aus einer Glasplatte versehen, die gegen Wärme und Chemikalien widerstandsfähig ist, wie z. B. eine Pyrex-Platte.

Wie in den **Fig. 17** und **19** gezeigt ist, weist die Bodenwand **313** vier Bereiche **313a**, **313b**, **313c** und **313d** auf, die von dem Umfangsteil in Richtung des mittleren Teiles der Bodenwand **313** abfallen. Eine Ablassleitung **490** ist mit dem mittleren Teil der Bodenwand **313** verbunden, um Flüssigkeiten von dem Bearbeitungsbehälter **302** abzulassen. Wenn die Neigung der Bereiche **313a** bis **313d** 15° oder größer ist, strömen Flüssigkeiten sanft in die Ablassleitung **490**. Die erste Ablassleitung **490** ist mit der ersten Ausflussleitung **457** verbunden (vgl. **Fig. 17**). Flüssigkeiten, die von dem Bearbeitungsbehälter **302** abgelassen werden, werden in einer Dunstfalle **451** (vgl. **Fig. 17**) gesammelt. Eine Gummi-Heizeinrichtung **432** ist auf die Außenfläche der Bodenwand **313** aufgebracht, wie in **Fig. 19** gezeigt ist.

Wie in **Fig. 17** gezeigt ist, kann ein Waferschiffchen **6**, das ähnlich zu dem in **Fig. 2** gezeigten ist, in dem Bearbeitungsbehälter **302** angeordnet und abgestützt werden. Das Waferschiffchen **6** weist einen Schaft **6d**, der durch Einführen einer Edelstahlröhre in eine Polypropylenröhre ausgebildet ist, um chemische Widerstandsfähigkeit und Festigkeit sicherzustellen, und Halteelemente **6a**, **6b** und **6c** auf, die jeweils durch Überziehen eines Edelstahlkernes mit PCTFE (Polychlorotrifluorethylen) ausgebildet sind.

Der Schaft **6d** ist durch die obere Abdeckung **312** derart ausgedehnt, dass er von dem Bearbeitungsbehälter **302** nach oben vorsteht. Ein Zwischenraum zwischen dem Schaft **6d** und der oberen Abdeckung **312** wird durch eine Luftgriffdichtung **335** abgedichtet. Luft wird in die Luftgriffdichtung **335** durch eine nicht gezeigte Luftzuführleitung zugeführt, die mit der Luftgriffdichtung verbunden ist, um die Luftgriffdichtung **335** auszudehnen. Folglich wird der Zwischenraum zwischen dem Schaft **6d** und der oberen Abdeckung **312** abgedichtet.

Wie **Fig. 20** zeigt, weist die Dampf-Zuführereinheit **304** eine Reinwasser-Zuführleitung **340** zum Überführen von Reinwasser oder destilliertem Wasser (DIW), einen Dampferzeuger **341** zum Erzeugen des Dampfes **303** durch Verdampfen des Reinwassers, das zu diesem durch die Reinwasser-Zuführleitung **340** zugeführt wird, eine Dampf-Zuführleitung **342** zum Überführen des Dampfes **303**, der durch den Dampferzeuger **341** erzeugt wird, und die Dampf-Zuführdüse **343** zum Ausstoßen des Dampfes **303** in den Bearbeitungsbehälter **302** auf.

Eine Reinwasserquelle **339** ist mit einem Einlassende der Reinwasser-Zuführleitung **340** verbunden, um Reinwasser

bei beispielsweise etwa $20 \text{ cm}^3/\text{min}$ ($50 \text{ cm}^3/\text{min}$ bei einem Maximum) zuzuführen. Die Reinwasser-Zuführleitung **340** ist mit einem Manometer **346**, einem Abschussventil **347**, einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **348** und einem Filter **349** versehen, die nacheinander in dieser Reihenfolge angeordnet sind. Die Reinwasser-Zuführleitung **340** weist ein Auslassende auf, das mit dem oberen Teil des Dampferzeugers **341** verbunden ist.

Wie in den **Fig. 20** und **21** gezeigt ist, weist der Dampferzeuger **341** einen röhrenförmigen Körper **350**, eine Bodenröhre **352**, die mit dem röhrenförmigen Körper **350** durch Miteinander-Befestigen von Flanschen **351** verbunden ist, eine Gummi-Heizeinrichtung **353**, die auf die äußere Seitenfläche des röhrenförmigen Körpers **350** aufgebracht ist, und eine Kartuschen-Heizeinrichtung **354** auf, die in dem röhrenförmigen Körper **350** koaxial mit letzterem angeordnet ist.

Ein Temperatursensor **355** ist an dem röhrenförmigen Körper **350** angebracht, um die Temperatur in dem röhrenförmigen Körper **350** zu messen. Der Temperatursensor **355** gibt ein Temperatursignal, das eine Temperatur in dem röhrenförmigen Körper **350** repräsentiert, an eine Steuerungseinheit **356**. Der Temperatursensor **355** ist beispielsweise ein Thermoelement der K-Art.

Die Gummi-Heizeinrichtung **353** wird durch die Steuerungseinheit **356** gesteuert. Die Gummi-Heizeinrichtung **353** ist mit einem Temperatursensor **357** und einem Überhitzungs-Überwachungssensor **358** versehen. Der Temperatursensor **357** und der Überhitzungs-Überwachungssensor sind mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Die Steuerungseinheit **356** empfängt ein Temperatursignal, das die Temperatur der Gummi-Heizeinrichtung **353** repräsentiert, von dem Temperatursensor **357** und steuert die Gummi-Heizeinrichtung **353** auf der Basis des Temperatursignals. Die Steuerungseinheit **356** nimmt ein Temperatursignal von dem Überhitzungs-Überwachungssensor **358** zur Überwachung des Zustandes der Gummi-Heizeinrichtung **353** derart, dass die Gummi-Heizeinrichtung **353** den röhrenförmigen Körper **350** nicht überhitzen kann, auf. Die Gummi-Heizeinrichtung **353** weist einen hohen Ausstoß pro Oberflächen-einheit auf. Der Temperatursensor **357** und der Überhitzungs-Überwachungssensor **358** sind beispielsweise Thermoelemente der K-Art. Die Gummi-Heizeinrichtung **353** ist mit einem Wärmeisolationselement überzogen, das nicht gezeigt ist, um den Wärmeeinfluss der Gummi-Heizeinrichtung **353** auf die Umgebungen zu verhindern. Das Wärmeisolationselement wird aus einem wärmebeständiges Material gebildet, das Wärme mit einer hohen Temperatur von nicht weniger als 200°C widersteht, wie z. B. Silicongummi.

Die Kartuschen-Heizeinrichtung **354** weist eine Heizröhre **360** und mehrere Heizescheiben **361** auf, die an die Außenseitenfläche der Heizröhre **360** angebracht sind. Die Kartuschen-Heizeinrichtung **354** wird durch die Steuerungseinheit **356** gesteuert. Reinwasser, das durch die Reinwasser-Zuführleitung **340** in den röhrenförmigen Körper **350** zugeführt wird, tropft auf die Heizröhre **360** und die Heizescheiben **361** und wird in Dampf **303** umgewandelt. Ein Temperatursensor **362** und ein Überhitzungs-Überwachungssensor **363** sind an die Kartuschen-Heizeinrichtung **354** angebracht und mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Die Kartuschen-Heizeinrichtung **354** wird ähnlich zu der Gummi-Heizeinrichtung **353** in geeigneter Weise durch die Steuerungseinheit **356** gesteuert.

Eine Reinwasser-Ablassleitung **356** ist an die Bodenleitung **352** und eine Dampf-Ablassleitung **380** (vgl. **Fig. 20**) verbunden. Reinwasser, das durch den Dampferzeuger **341** nicht in Dampf verwandelt wird, wird durch die Reinwas-

ser-Ablassleitung **356** und die Dampf-Ablassleitung **380** in eine Dunstfalle **451** abgelassen. Die Reinwasser-Ablassleitung **365** ist mit einem Strömungssteuerungsventil **366** versehen, um die Reinwasser-Ablassrate in geeigneter Weise zu steuern.

Wie in **Fig. 20** gezeigt ist, ist der Dampferzeuger **341** mit einer Messröhre **367** verbunden, um eine Sichtinspektion des Niveaus des Reinwassers in den röhrenförmigen Körper **350** zu ermöglichen. Die Messröhre **367** weist ein Ende, das mit der Reinwasser-Ablassleitung **365** verbunden ist, und das andere Ende, das mit einem oberen Teil des röhrenförmigen Körpers **350** verbunden ist, auf. Ein Oberes-Grenzniveau-Sensor **368** ist mit der Messröhre **367** verbunden. Der Oberes-Grenzniveau-Sensor **368** ist mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Wenn die Erzeugungsrate von Reinwasser, das nicht in Dampf umgewandelt werden konnte, die Ablassfähigkeit der Reinwasser-Ablassleitung **365** übersteigt, d. h. die Ablassfähigkeit der Dunstfalle **351**, wird Reinwasser in dem Dampferzeuger **341** angesammelt, und das Niveau des Reinwassers steigt an. Nach dem Erreichen des Niveaus des Reinwassers in dem röhrenförmigen Körper **350** bei einem oberen Grenzniveau gibt der Oberes-Grenzniveau-Sensor **368** ein Alarmsignal an die Steuerungseinheit **356**. Die Messröhre **367** ist mit der Reinwasser-Ablassleitung **365** durch eine Verbindungsleitung **369** verbunden, die mit einem Sicherheitsventil **370** versehen ist. Das Sicherheitsventil **370** ermöglicht dem Reinwasser, von dem röhrenförmigen Körper **350** bei einem Druck ein wenig oberhalb eines vorbestimmten Arbeitsniveaus des röhrenförmigen Körpers **350** zu entweichen. Obwohl der Dampf **303** bei dieser Ausführungsform durch Tropfen von Reinwasser von der Reinwasser-Zuführleitung **340** erzeugt wird, kann der Dampf **303** durch Erwärmen von Reinwasser durch die Kartuschen-Heizeinrichtung **365** erzeugt werden, das in dem röhrenförmigen Körper **350** untergebracht ist. Reinwasser kann in dem röhrenförmigen Körper **350** durch Verschließen des Strömungssteuerungsventils **366** untergebracht werden. Nach der Erfassung des Anstiegs des Wasserniveaus in dem röhrenförmigen Körper **350** auf das obere Grenzniveau gibt der Oberes-Grenzniveau-Sensor **368** ein Signal an die Steuerungseinheit **356**, und die Steuerungseinheit **356** steuert eine Energiequelle zur Zuführung von Energie zu der Gummi-Heizeinrichtung **353** und der Kartuschen-Heizeinrichtung **354**.

Die Dampf-Zuführleitung **342** ist an einen oberen Teil des Dampferzeugers **341** verbunden, und ist mit einem Abschlussventil **375** versehen. Eine Platten-Heizeinrichtung **376** ist mit dem Abschlussventil **375** kombiniert. Die Platten-Heizeinrichtung **376** wird durch die Steuerungseinheit **356** für die Wärmeerzeugung gesteuert. Eine maximale Erwärmungstemperatur, die durch die Platten-Heizeinrichtung **376** erreicht werden kann, liegt beispielsweise bei 150°C. Ein Temperatursensor **377** und ein Überhitzungs-Überwachungssensor **378** sind mit der Platten-Heizeinrichtung **376** verbunden. Der Temperatursensor **377** und der Überhitzungs-Überwachungssensor **378** sind mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Der Erwärmungsbetrieb der Platten-Heizeinrichtung **376** wird durch die Steuerungseinheit **356** gesteuert.

Die Dampf-Ablassleitung **380**, die mit einem Abschlussventil **381** versehen ist, ist mit der Dampf-Zuführleitung **342** verbunden. Das Abschlussventil **381** wird offengehalten, bis die Temperatur und der Dampferzeugungsbetrieb des Dampferzeugers **341** stabilisiert sind, um den Dampf **303** in die Dunstfalle **451** abzulassen.

Eine Band-Heizeinrichtung **382** ist mit der Dampf-Zuführleitung **342** kombiniert. Die Band-Heizeinrichtung **382** wird durch die Steuerungseinheit **356** für die Wärmeerzeugung gesteuert.

Eine Erwärmungstemperatur, die durch die Band-Heizeinrichtung **382** erreicht werden kann, liegt im Bereich von beispielsweise 90 bis 120°C. Ein Temperatursensor **383** und Überhitzungs-Überwachungssensor **384** sind mit der Band-Heizeinrichtung **382** verbunden. Der Temperatursensor **383** und der Überhitzungs-Überwachungssensor **383** sind mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Die Band-Heizeinrichtung **382** wird durch die Steuerungseinheit **356** für die Wärmeerzeugung gesteuert. Die Platten-Heizeinrichtung **376** und die Band-Heizeinrichtung **382** erwärmen den Dampf **303**, der durch die Dampf-Zuführleitung **342** getragen wird, um die Kondensation des Dampfes **303** in der Dampf-Zuführleitung **342** zu verhindern.

Wie in **Fig. 22** gezeigt ist, weist die Dampf-Zuführdüse **343** eine innere Röhre **385** und eine äußere Röhre **386** auf, welche die innere Röhre **385** koaxial umgibt. Ein Bereich der in die äußere Röhre **386** eingeführten inneren Röhre **385** ist beispielsweise mit fünf Öffnungen **387**, die bei gleichen Abständen angeordnet sind, und mit einer Öffnung **388** mit einem Durchmesser von 0,8 mm an seinem Ende versehen. Die äußere Röhre **386** ist bei gleichen Abständen, die beispielsweise den Teilungen der Wafer **W**, die in den Bearbeitungsbehälter **302** gehalten werden, wie z. B. 3,175 mm, gleich sind, mit Öffnungen **389** versehen. Die Anzahl der Öffnungen **389** ist beispielsweise sechsfünfundzig. Die Position der Öffnungen **387** der inneren Röhre **385** und diejenige der Öffnungen **389** der äußeren Röhre **386** sind diametral entgegengesetzt zueinander. Dampf **303**, der durch die innere Röhre **385** getragen wird, wird gleichmäßig in der äußeren Röhre **386** verteilt, und gleichmäßig durch die Öffnungen **389** der äußeren Röhre **386** ausgestoßen.

Die Dampf-Zuführdüse **343** ist in die Dampfzuführdüsen-Aufnahmeöffnung **317** (**Fig. 18**) derart eingeführt, dass sie um ihre horizontale Achse in einem Winkelbereich von 90° drehbar ist, wie durch die Pfeile θ in **Fig. 22** angezeigt ist. Somit ist die Dampfausstoßrichtung der Dampf-Zuführdüse **343** in einem Winkelbereich von 90° variabel. Bei dieser Ausführungsform ist die Dampf-Zuführdüse **343** in einer Position eingestellt, um den Dampf **303** nach oben in den Bearbeitungsbehälter **302** auszustößen, und folglich strömt der nach oben ausgestoßene Dampf **303** auf die Wafer **W** nach unten.

Wie in **Fig. 23** gezeigt ist, weist die Ozongas-Zuführreinheit **306** einen Ozonerzeuger **390**, der Ozongas **305** erzeugt, eine Ozongas-Zuführleitung **391** zum Tragen des Ozongases **305**, das durch den Ozonerzeuger **390** erzeugt wird, und die Ozongas-Zuführdüse **392** zum Ausstoßen des Ozongases **305**, das durch die Ozongas-Zuführleitung **391** getragen wird, in den Bearbeitungsbehälter **302**, auf. Das durch den Ozonerzeuger **390** erzeugte Ozongas **305** weist eine Ozonkonzentration von etwa 141 g/m³ (normal), d. h. etwa 6,6 Volumenprozent auf. Das Ozongas **305** wird durch die Ozongas-Zuführleitung **391** bei einer Strömungsrate von etwa 40 l/min zugeführt. Die Ozongas-Zuführleitung **391** ist mit einem Abschlussventil **393** versehen.

Die Ozongas-Zuführdüse **392** ist in der Konstruktion ähnlich wie die Dampf-Zuführdüse **343**, und somit wird eine Beschreibung derselben weggelassen. Die Ozongas-Zuführdüse **392** ist die Ozongasausstoßdüsen-Aufnahmeöffnung **318** derart eingeführt, dass sie um ihre Horizontalachse in einem Winkelbereich von 90° drehbar ist. Somit ist die Ozongas-Ausstoßrichtung der Ozongas-Zuführdüse **392** variabel. Bei dieser Ausführungsform ist die Ozongas-Zuführdüse **392** in einer Position eingestellt, um das Ozongas in dem Bearbeitungsbehälter **302** nach oben auszustößen. Folglich strömt das nach oben ausgestoßene Ozongas **305** nach unten auf die Wafer **W**. Das Ozongas **305** und der

Dampf **303** werden in einem oberen Bereich des Inneren des Bearbeitungsbehälters **302** in ein gemischtes Gas gemischt, und das gemischte Gas strömt auf die Wafer **W** nach unten.

Wie **Fig. 24** zeigt, weist die Heißluft-Zuführeinheit **307** eine Luft-Zuführleitung **400** zum Tragen der Luft, einen Heißluftherzeuger **401**, der die zu diesem durch die Luft-Zuführleitung **400** zugeführte Luft aufheizt, um Heißluft **403** zu erzeugen, eine Heißluft-Zuführleitung **402** zum Tragen der durch den Heißluftherzeuger **401** erzeugten Heißluft **403** und Luft-Zuführdüsen **404** zum Ausstoßen der Heißluft **403** in Richtung der Wafer **W** auf.

Das Einlassende der Luft-Zuführleitung **400** ist mit einer Luftquelle **406** verbunden, die kühle Luft bei einer Strömungsrate von beispielsweise 500 l/min zuführt. Die Luft-Zuführleitung **400** ist mit einem Manometer **411**, einem Abschlussventil **412**, einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **413** und einem Filter **414** versehen, die nacheinander in dieser Reihenfolge angeordnet sind. Das Auslassende der Luft-Zuführeinheit **400** ist mit einem unteren Teil des Heißluftherzeugers **401** verbunden.

Wie in **Fig. 24** und **25** gezeigt ist, weist der Heißluftherzeuger **401** einen röhrenförmigen Körper **415**, eine Gummi-Heizeinrichtung **416**, die auf eine Außenseitenfläche des röhrenförmigen Körpers **415** aufgebracht ist, und eine Kartuschen-Heizeinrichtung **417** auf, die in den röhrenförmigen Körper **415** eingeführt ist. Die Gummi-Heizeinrichtung **416** wird durch die Steuerungseinheit **356** für die Wärmeerzeugung gesteuert. Ein Temperatursensor **407** und Überhitzungs-Überwachungssensor **408** sind mit der Gummi-Heizeinrichtung **416** verbunden. Der Temperatursensor **407** und der Überhitzungs-Überwachungssensor **408** sind mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Die Steuerungseinheit **356** steuert die Gummi-Heizeinrichtung **416** in geeigneter Weise für das Erwärmen. Die Gummi-Heizeinrichtung **416** ist mit einem Wärmeisolationselement (das nicht gezeigt ist) überzogen.

Die Kartuschen-Heizeinrichtung **417** ist mit der Steuerungseinheit **356** verbunden und wird durch diese für die Erwärmung gesteuert. Kühle Luft, die durch die Luft-Zuführleitung **400** in den röhrenförmigen Körper **415** zugeführt wird, wird durch die Kartuschen-Heizeinrichtung **417** erwärmt. Ein Temperatursensor **419** und ein Überhitzungs-Überwachungssensor **420** sind an die Kartuschen-Heizeinrichtung **417** angebracht und mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Die Steuerungseinheit **356** steuert die Kartuschen-Heizeinrichtung **417** in geeigneter Weise für das Erwärmen.

Die Heißluft-Zuführleitung **402** ist mit dem oberen Teil des Heißluftherzeugers **401** verbunden. Eine Band-Heizeinrichtung **421** ist mit der Heißluft-Zuführleitung **402** kombiniert. Die Band-Heizeinrichtung **421** wird durch die Steuerungseinheit **356** für die Wärmeerzeugung gesteuert. Eine Erwärmungstemperatur, die durch die Band-Heizeinrichtung **421** erreicht werden kann, liegt im Bereich von beispielsweise 100 bis 200°C. Ein Temperatursensor **422** und Überhitzungs-Überwachungssensor **423** sind mit der Band-Heizeinrichtung **421** verbunden. Der Temperatursensor **422** und der Überhitzungs-Überwachungssensor **423** sind mit der Steuerungseinheit **356** verbunden. Die Band-Heizeinrichtung **421** wird durch die Steuerungseinheit **356** für die Wärmeerzeugung gesteuert. Die Band-Heizeinrichtung **421** erwärmt die Heißluft-Zuführleitung **402**, um das Abfallen der Temperatur der Heißluft **403** zu verhindern, die durch die Heißluft-Zuführleitung **402** zugeführt wird.

Die Luft-Zuführdüsen **404** sind in der Konstruktion ähnlich zu der Dampf-Zuführdüse **343** und der Ozongas-Zuführdüse **392**, und somit wird eine Beschreibung derselben weggelassen. Die Luft-Zuführdüsen **404** sind in die Gaszu-

föhrdüsen-Aufnahmeöffnungen **319** und **320** derart eingeführt, dass sie um ihre horizontalen Achsen in einem Winkelbereich von 90° drehbar sind. Somit sind die Luftausstoßrichtungen der Luft-Zuführdüsen **404** variabel. Die Luftausstoßrichtungen der Luft-Zuführdüsen **404** sind nicht fest. Wenn die Heißluft **403** ausgespritzt wird, werden die Luft-Zuführdüsen abwechselnd in entgegengesetzte Richtungen gedreht, um die Heißluft **403** gleichmäßig über sämtliche Wafer **W** auszuspritzen.

Wie in den **Fig. 17, 18** und **19** gezeigt ist, weist die Heißluft-Zuführeinheit **307** die Gummi-Heizeinrichtungen **430, 431** und **432** auf. Die Gummi-Heizeinrichtungen **430, 431** und **432** werden für die Wärmeerzeugung durch die Steuerungseinheit **356** gesteuert. Wie in den **Fig. 18** und **19** gezeigt ist, sind die vier Gummi-Heizeinrichtungen **430** an die äußeren Seitenflächen des Behälterkörpers **311** angebracht und in Reihe verbunden. Die Gummi-Heizeinrichtungen **430** weisen eine Wärmeerzeugungskapazität auf, die in der Lage ist, den Behälterkörper **311** mit einer Wärmekapazität in zwanzig Minuten auf 120°C zu erwärmen. In einem normalen Betriebszustand beträgt die Temperatur der Wärme, die durch die Gummi-Heizeinrichtungen **430** erzeugt wird, 80°C. Wie in **Fig. 26** gezeigt ist, ist ein Temperatursensor **433** mit Schrauben **434** an die Gummi-Heizeinrichtung **430** befestigt. Die Steuerungseinheit **356** ist mit dem Temperatursensor **433** zur Steuerung der Gummi-Heizeinrichtungen **430** für die Wärmeerzeugung verbunden. Wie in **Fig. 18** gezeigt ist, ist jede Gummi-Heizeinrichtung **430** mit einem Wärmeisolationselement **435** überzogen. Das Wärmeisolationselement **435** wird mit einer Abdeckung **436** an die Außenfläche der Gummi-Heizeinrichtung **430** gehalten. Das Wärmeisolationselement **435** ist aus einem Wärmeisolationmaterial ausgebildet, das Wärme von 150°C oder oberhalb widersteht, wie z. B. Silicongummi. Die Abdeckung **436** ist eine Platte aus Edelstahl oder ähnlichem.

Die Außenfläche der Gummi-Heizeinrichtung **431** ist mit einem nicht gezeigten Isolationselement abgedeckt, so dass Wärme, die durch die Gummi-Heizeinrichtung **431** erzeugt wird, nicht in die Umgebung dissipieren kann. Siliconschwamm ist ein bevorzugtes Material für das Wärmeisolationselement. Wie in **Fig. 19** gezeigt ist, ist die Gummi-Heizeinrichtung **432** auf die Außenfläche (die untere Fläche) der Bodenwand **313** aufgebracht. Die erste Ablassleitung **490** ist durch eine Öffnung **437** geführt, die in der Gummi-Heizeinrichtung **432** ausgebildet ist. Die Gummi-Heizeinrichtung **432** ist mit einer Wärmeisulationsabdeckung **438** abgedeckt, die mit einer Öffnung **539** versehen ist. Die Wärmeisulationsabdeckung **438** ist eine 1,5 mm dicke Edelstahlplatte.

Wie **Fig. 27** zeigt, sind der Dampferzeuger **341**, der Heißluftherzeuger **401** und die zugeordneten Leitungen in einer Box **440** eingeschlossen, um diese Komponenten in einen begrenzten Raum einzubauen und Wartungsarbeiten zu erleichtern. Die Box **440** ist durch Bearbeiten von Edelstahlplatten ausgebildet und ist mit einem Isolationselement ausgekleidet, um die Dissipation von Wärme von der Box **440** in die Umgebung zu verhindern.

Wie die **Fig. 24** zeigt, weist die Kühlluft-Zuführeinheit **308** eine Kühlluft-Zuführleitung **445** auf. Die Kühlluft-Zuführleitung **445** weist ein Ende, das mit einem Teil der Luft-Zuführleitung **400** zwischen dem Manometer **411** und dem Abschlussventil **412** verbunden ist, und das andere Ende, das mit der Heißluft-Zuführleitung **402** verbunden ist, auf. Die Kühlluft-Zuführleitung **445** ist mit einem Abschlussventil **446**, einer Strömungs-Steuerungseinrichtung **447** und einem Filter **448** versehen, die nacheinander in dieser Reihenfolge angeordnet sind. Wenn Kühlluft zu dem Bearbeitungsbehälter **302** zugeführt wird, ist das Abschlussventil

412 geschlossen, das Abschlussventil **446** ist geöffnet, und eine Energiezuführung zu der Band-Heizeinrichtung **421** wird angehalten. Kühlluft, die durch die Luftquelle **406** zugeführt wird, strömt durch die Luft-Zuführeinheit **308** unter Umgehung des Heißlufterzeugers **401**, und strömt durch die Heißluft-Zuführleitung **402** und die Luft-Zuführdüsen **404** in den Bearbeitungsbehälter **302**. Die Luftquelle **406** wird sowohl zur Zuführung von Heißluft als auch zur Zuführung von Kühlluft verwendet, und die Luft-Zuführdüsen **404** werden bei dieser Ausführungsform sowohl zum Ausspritzen von Heißluft als auch zum Ausspritzen von Kühlluft verwendet. Die Kühlluft-Zuführeinheit **308** kann mit einer getrennten Luftquelle und getrennten Luft-Zuführdüsen versehen sein.

Wie in **Fig. 28** gezeigt ist, weist eine Ablassereinheit **309** die Ablasssammler **450**, die in dem Bearbeitungsbehälter **302** angeordnet sind, die Dunstfalle **451**, einen Ozonzerstörer **452**, eine Abflussbox **453** mit dem Bearbeitungsbehälter **302** derart, dass die Umgebung um den Bearbeitungsbehälter **302** darin eingeschlossen wird, und einen Ablasssammler **454** auf, der Gase sammelt und ablässt, die von dem Bearbeitungsbehälter **302**, der Abflussbox **453** und anderen Teilen der Reinigungsvorrichtung **300** abgelassen werden.

Wie die **Fig. 29** zeigt, weist jeder der Ablasssammler **450** eine obere Wand, die mit einem Schlitz **455** versehen ist, und eine Seitenwand auf, die mit mehreren Öffnungen **456** mit beispielsweise 10 mm im Durchmesser versehen ist, und die bei gleichen Abständen von beispielsweise 30 mm angeordnet sind. Die erste Ablassleitung **457** ist mit den Ablasssammlern **450** verbunden. Die erste Ablassleitung **457** erstreckt sich durch die Ablasssammler-Verbindungsöffnung **322** (vgl. **Fig. 18**) in den Bearbeitungsbehälter **302**. Das Auslassende der ersten Ablassleitung **457** ist mit der Dunstfalle **451** verbunden. Die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** wird durch die Schlitz **455** und die Öffnungen **456** der Ablasssammler **450** in die Ablasssammler **450** gesaugt und wird in die Dunstfalle **451** abgelassen. Die Ablasssammler **450** sind aus Edelstahlplatten mit Oberflächen ausgebildet, die für eine Verstärkung des chemischen Widerstandes behandelt sind.

Die Dunstfalle kühlt den Dampf **303**, der von dem Dampferzeuger **341** abgelassen wird, und das Gas, das von dem Bearbeitungsbehälter **302** abgelassen wird, um selbiges zu kondensieren, trennt Gase von Flüssigkeiten und lässt die Gase und die Flüssigkeiten getrennt ab. Wie **Fig. 28** und **29** zeigen, ist die Dunstfalle **451** allgemein in eine Kühleinheit (eine Gas-Flüssigkeits-Trenneinheit) **460** und eine Ablassereinheit **461** getrennt. Die Dampf-Ablassleitung **480** und die erste Ablassleitung **457** sind mit einem oberen Teil der Dunstfalle **451** verbunden. Eine erste Röhre **462** und eine zweite Röhre **463** erstrecken sich durch die Kühleinheit **460** der Dunstfalle **451**. Die erste Röhre **462** ist mit der Dampf-Ablassleitung **380** verbunden, und die zweite Röhre **463** ist mit der ersten Ablassleitung **457** verbunden. Die Röhren **462** und **463** öffnen sich in die Ablassereinheit **461**. Die Röhren **462** und **463** sind in einer Spiralform in der Kühleinheit **460** gewunden. Die Komponenten der Dunstfalle **451** und die Röhren **462** und **463** sind aus korrosionswiderstandsfähigem Material, wie z. B. PFA (einem Copolymer aus Perfluoralcoxyalkan und Perphloroalkylvinyläther), ausgebildet.

Eine Kühlwasser-Zuführleitung **465** zum Tragen von Kühlwasser und eine Kühlwasser-Ablassleitung **466** sind mit der Kühleinheit **460** verbunden. Wie in **Fig. 28** gezeigt ist, ist die Kühlwasser-Zuführleitung **465** mit einem Strömungssteuerungsventil **467** versehen, und die Kühlwasser-Ablassleitung **466** ist mit einem Strömungssteuerungsventil **468** versehen.

Eine zweite Ablassleitung **470** zum Ablassen von Gasen ist mit der Ablassereinheit **461** verbunden. Da die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** das Ozongas **305** enthält, ist die zweite Ablassleitung **470** mit dem Ozonzerstörer **452** versehen. Der Ozonzerstörer **452** zerstört das Ozongas mit einer hohen Ozonkonzentration, das in dem Gas enthalten ist, das durch die zweite Ablassleitung **470** abgelassen wird, durch eine katalytische Reaktion.

Kühlwasser wird durch die Kühlwasser-Zuführleitung **465** in die Kühleinheit **460** der Dunstfalle **451** zugeführt. Der Dampf **305** und das Reinwasser, das von dem Dampferzeuger **341** abgelassen wird, strömen durch die Dampf-Ablassleitung **380** in die Dunstfalle **451**. Das Reinwasser strömt durch die erste Röhre **462** in die Ablassereinheit **461**. Der Dampf wird gekühlt und durch das Kühlwasser kondensiert, während selbiger durch die erste Röhre **462** strömt. Da die erste Röhre **462** in eine Spiralform gewickelt ist, benötigt der Dampf eine hinreichende Zeit zum Abkühlen durch das Kühlwasser, um durch die erste Röhre **462** zu strömen. Wassertropfen, die durch die Kondensation des Dampfes ausgebildet werden, tropfen in die Ablassereinheit **461**. Flüssigkeitstropfen und das Gas, das von dem Bearbeitungsbehälter **302** abgelassen wird, strömen durch die erste Ablassleitung **457** in die Dunstfalle **451**. Die Flüssigkeitstropfen, die von dem Bearbeitungsbehälter **302** abgelassen werden, strömen durch die zweite Röhre **463** in die Ablassereinheit **461**. Das von dem Bearbeitungsbehälter **302** abgelassene Gas wird gekühlt und durch das Kühlwasser kondensiert, während selbiges durch die zweite Röhre **463** strömt. Das Gas benötigt eine hinreichende Zeit zum Kühlen, um durch die zweite Röhre **463** zu strömen. Somit kann das von dem Bearbeitungsbehälter **302** abgelassene Gas zufriedenstellend in Ozongas und Flüssigkeitstropfen getrennt werden. Das in der Ablassereinheit **461** gesammelte Gas wird durch die zweite Ablassleitung **470** abgelassen. Ozon, das in dem von der Ablassereinheit **461** abgelassenen Gas enthalten ist, wird durch den Ozonzerstörer **452** zerstört. Bevorzugt wird das Kühlwasser fortlaufend durch die Kühlwasser-Zuführleitung **465** zugeführt, und wird durch die Kühlwasser-Ablassleitung **466** zum Auffüllen der Kühleinheit **460** zu sämtlichen Zeitpunkten abgelassen.

Wie **Fig. 31** zeigt, weist die Abflussbox **453** ein Gehäuse **480** auf, welches den Bearbeitungsbehälter **302** enthält. Eine Ablassröhre **481** ist mit dem Gehäuse **480** der Abflussbox **453** verbunden. Die Abflussbox **535** ist evakuiert, um das Ausfließen der Umgebung mit dem Ozongas nach außerhalb der Reinigungsvorrichtung **300** zu verhindern, wenn der Bearbeitungsbehälter **302** geöffnet wird. Die Abflussbox ist beispielsweise aus PVC (Polyvinylchlorid) ausgebildet.

Wie in den **Fig. 28** und **32** gezeigt ist, sind die zweite Ablassleitung **470** und das Ablassrohr **481** mit dem Ablasssammler **454** verbunden. Mehrere Röhren **482** zum Saugen der Umgebung in einem Raum hinter der Reinigungsvorrichtung **300** in den Ablasssammler **454** sind für eine doppelte Verhinderung der Diffusion des Ozongases vorgesehen. Der Ablasssammler **454** ist mit einem Säure-Ablasssystem der Anlage verbunden. Abgelassene Gase und Flüssigkeiten werden in dem Ablasssammler **454** gesammelt, bevor sie in das Ausstoßsystem abgelassen werden. Somit wird die Diffusion des Ozongases verhindert, und die abgelassenen Gase werden streng gesteuert.

Wie in den **Fig. 28** und **30** gezeigt ist, weist das Ablasssystem **310** eine erste Ablassleitung **490**, die mit dem Bodenteil des Bearbeitungsbehälters **302** verbunden ist, und eine zweite Ablassleitung **491** auf, die mit dem Bodenteil der Ablassereinheit **461** verbunden ist. Die erste Ablassleitung **490** ist mit einem Abschlussventil **492** versehen. Wie oben erwähnt, ist die erste Ablassleitung **490** mit der ersten Ab-

lassleitung **457** verbunden, um für Flüssigkeitstropfen, die in dem Bearbeitungsbehälter **302** gebildet werden, zu bewirken, dass diese in die erste Ablassleitung **457** strömen. Die zweite Ablassleitung **491** ist mit einem Abschlussventil **493** versehen. Manchmal verbleibt Ozon in dem Ablass. Deshalb ist die zweite Ablassleitung **491** mit einem Säure-Ablasssystem der Anlage verbunden. Das Ablasssystem **310** ist mit einem Unteres-Grenzniveau-Sensor **494**, einem Ablassniveausensor **495** und einem Oberes-Grenzniveau-Sensor **496** versehen, die vertikal nach oben in dieser Ordnung angeordnet sind. Die Sensoren **494**, **495** und **496** sind mit der Steuerungseinheit **356** verbunden.

Wie oben erwähnt, strömen Flüssigkeitstropfen, die in dem Bearbeitungsbehälter **302** erzeugt werden, durch die erste Ablassleitung **490** und die erste Ablassleitung **457** in die Dampffalle **451**. Nachdem eine bestimmte Menge der Flüssigkeit in der Ablasseinheit **461** gesammelt wurde, wird die Flüssigkeit durch die Ablassleitung **491** abgelassen; d. h. das Abschlussventil **493** wird geschlossen gehalten, zumindest bis das Niveau der in der Ablasseinheit **461** gesammelten Flüssigkeit das Niveau des Unteres-Grenzniveau-Sensors **494** erreicht. Wenn das Abschlussventil **493** geöffnet wird, während nur ein wenig Flüssigkeit in der Ablasseinheit **461** gesammelt ist, wird die Ablasseinheit **461** unmittelbar leer, und Ozongas wird durch die zweite Ablassleitung **491** in das Säure-Ablasssystem der Anlage entladen. Da das Säure-Ablasssystem der Anlage nicht dafür gestaltet ist, mit Gas umzugehen, wird Ozongas, das für den menschlichen Körper schädlich ist, in die Umgebung austreten. Wenn das Niveau der gesammelten Flüssigkeitstropfen unterhalb des Niveaus des Unteres-Grenzniveau-Sensors **494** fällt, wird das Abschlussventil **493** geschlossen, um zu verhindern, dass die Ablasseinheit **461** leer wird, so dass der Ausfluss von Ozongas in die Umgebung verhindert werden kann. Nach dem Ansteigen des Niveaus der gesammelten Flüssigkeit auf das Niveau des Ablassniveausensors **495**, gibt der Ablassniveausensor **495** ein Signal an die Steuerungseinheit **356**, und die Steuerungseinheit **356** öffnet das Abschlussventil **493**, um das Ablassen der gesammelten Flüssigkeit zu beginnen. Nach dem Ansteigen des Niveaus der gesammelten Flüssigkeit auf das Niveau des Oberes-Grenzniveau-Sensors **496** gibt der Oberes-Grenzniveau-Sensor **496** ein Warnsignal an die Steuerungseinheit **356**. Natürlich werden Reinwasser, das von dem Dampferzeuger **341** abgelassen wird, und Wassertropfen, die durch die Kondensation von Dampf erzeugt werden, durch die zweite Ablassleitung **491** abgelassen.

Wie in **Fig. 17** gezeigt ist, ist der Bearbeitungsbehälter **302** mit einem Innentemperatur-Überwachungssensor **497** versehen, um die Temperatur in dem Bearbeitungsbehälter **302** zu messen. Der Innentemperatur-Überwachungssensor **497** ist oberhalb des Ablasssammlers **450** angeordnet, so dass selbiger nicht den Wafern **W** und dem Waferschiffchen **6** in Konflikt kommt und in der Lage sein kann, die Temperatur an einer Stelle in der Nähe des Reaktionsraumes zu messen.

Ein Reinigungsverfahren, das durch die Reinigungsvorrichtung **300** durchzuführen ist, wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** bis **5** und das Flussdiagramm, das in **Fig. 33** gezeigt ist, erläutert. Beispielsweise fünfundzwanzig Wafer **W**, die jeweils eine Oberfläche aufweisen, die mit beispielsweise einer Resistschicht **30** überzogen ist, werden in den Bearbeitungsbehälter **302** gestellt (Beginn des Reinigungsverfahrens).

Nachfolgend führt die Luft-Zuführereinheit **307** Heißluft zu und stößt selbige durch die Luft-Zuführdüsen **404** in den Bearbeitungsbehälter **302** aus, und die Gummi-Heizeinrichtungen **430**, **431** und **432** werden mit Energie versorgt, um die

Wafer **W** auf eine vorbestimmte Temperatur in Schritt **S1** zu erwärmen. Die vorbestimmte Temperatur der Wafer **W** ist geringer als der Taupunkt des Dampfes **303**, der in den Bearbeitungsbehälter **302** zugeführt wird, und liegt in einem Temperaturbereich, der für eine zweckmäßige Bearbeitung der Wafer **W** geeignet ist.

Die Steuerungseinheit **356** steuert die jeweiligen Wärmeerzeugungsraten der Gummi-Heizeinrichtungen **430**, **431** und **432**, der Gummi-Heizeinrichtung **416** und des Heißluft-erzeugers **401** sowie der Kartuschen-Heizeinrichtung **417**, um eine Wärmeumgebung von beispielsweise 80°C zu erzeugen, die für die Erwärmung der Wafer **W** in dem Bearbeitungsbehälter **302** geeignet ist, und für den Heißluft-erzeuger **401** zu verursachen, dass er die Heißluft **403** mit einer geeigneten Temperatur erzeugt. Die Luft-Zuführdüsen **404** werden abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen in einer vertikalen Ebene gedreht, um die Heißluft **403** abwechselnd nach oben und unten auszustoßen, so dass die Heißluft **403** gleichmäßig auf den Wafer **W** aufgebracht wird, um die Wafer gleichmäßig zu erwärmen. Da die Heißluft **403** unmittelbar auf die Wafer **W** aufgebracht wird, können die Wafer **W** schnell auf die vorbestimmte Temperatur erwärmt werden.

Nach dem Vorbeigehen einer vorbestimmten Erwärmungszeit wird das Ausstoßen der Heißluft **403** angehalten, und dann der Dampf **303** in den Bearbeitungsbehälter **302** durch die Dampf-Zuführereinheit **304** in Schritt **S2** zugeführt. Die Steuerungseinheit **356** steuert die Temperatur des Dampfes **303** und die Dampferzeugungsraten der Kartuschen-Heizeinrichtung **354**. Die Dampf-Zuführdüse **343** ist derart eingestellt, dass sie den Dampf **303** in Richtung eines oberen Bereichs in den Bearbeitungsbehälter **302** ausstößt. Der Dampf **303**, der in den Bearbeitungsbehälter **302** ausgestoßen wird, strömt von dem oberen Bereich in den Bearbeitungsbehälter **302** nach unten, und folglich kann der Dampf **303** zufriedenstellend auf die Wafer **W** aufgebracht werden.

Da die Wafer **W** auf die Temperatur niedriger als dem Taupunkt des Dampfes **303** erwärmt werden, wird der Dampf **303** in geeigneter Weise an den Oberflächen der Wafer **W** kondensiert, und eine dünne Reinwasserschicht **31** kann an den Oberflächen eines jedes Wafers **W**, wie gezeigt in **Fig. 4**, ausgebildet werden. Dann wird das Ozongas **305** in den Bearbeitungsbehälter **302** durch die Ozongas-Zuführereinheit **306** über die Ozongas-Zuführdüse **392** zugeführt. Das Ozongas **305** wird in Richtung des oberen Bereichs in den Bearbeitungsbehälter **302** ausgestoßen und strömt von dem oberen Bereich nach unten. Somit kann das Ozongas **305** zufriedenstellend auf die Wafer **W** aufgebracht werden.

Somit löst sich das Ozongas **305** in den Reinwasserschichten **31**, um ozonhaltige Wasserschichten mit zahlreichen Sauerstoffradikalen und Wasserstoffradikalen an den Oberflächen der Wafer **W** zu erzeugen. Die Sauerstoffradikale und die Wasserstoffradikale, die an den Oberflächen der Wafer **W** erzeugt werden, bewirken eine Oxidationsreaktion, bevor selbige verschwinden, wodurch das Resist, das die Resistschicht **30** bildet, in Carbonsäure, Kohlendioxid, Wasser und dergleichen zerlegt wird. Dann werden, wie in **Fig. 5** gezeigt ist, die Resistschichten **30** oxidiert, und das Resist, das die Resistschicht bildet, wird vollständig durch die ozonhaltigen Wasserschichten zerlegt, und die Resistschichten **30** werden in wasserlösliche Schichten **32** verändert. Die wasserlöslichen Schichten **32** können leicht durch einen nachfolgenden Abspülschritt unter Verwendung von Reinwasser entfernt werden.

Nachdem eine vorbestimmte Bearbeitungszeit vergangen ist, werden die Zuführung des Dampfes **303** und des Ozongases **305** angehalten, und Kühlluft wird durch die Luft-Zuführdüse **404** in den Bearbeitungsbehälter **302** in Schritt **S3**

eingespritzt. Folglich wird das Innere des Bearbeitungsbehälters **302** auf eine gewöhnliche Temperatur gekühlt, um einen sicheren Zustand zum Arbeiten sicherzustellen. Dann wird die obere Abdeckung **312** entfernt, und die Wafer **W** werden zum Vollenden des Vorgangs aus dem Bearbeitungsbehälter **302** entnommen. Da die Umgebung um den Bearbeitungsbehälter **302** durch die Abflussbox **453** evakuiert ist, verteilt sich das Ozongas **305** nicht in die Umgebung, wenn der Bearbeitungsbehälter **302** geöffnet wird.

Nachfolgend werden die Wafer **W** zu einer Spülvorrichtung geliefert, um die Wafer **W** mit Reinwasser abzuspielen. Da die Resistsschichten **30** (vgl. **Fig. 3**) in wasserlösliche Schichten **32** verändert wurden, können die wasserlöslichen Schichten **32** leicht durch Spülen von den Wafern **W** entfernt werden. Dann werden die Wafer **W** zu einer Trocknungsvorrichtung übergeführt, um die sauberen Wafer **W** zu trocknen.

Der Dampf **303** kondensiert übermäßig, wenn die Temperatur der Wafer **W** übermäßig geringer als der Taupunkt des Dampfes **303** ist, und eine große Menge von Wassertropfen bildet sich an den Oberflächen der Wafer **W**. Bei dieser Ausführungsform steuert die Steuerungseinheit **356** die Heißluft-Zuführeinheit **307** zum Erwärmen der Wafer **W** auf die vorbestimmte Temperatur und steuert die Dampf-Zuführeinheit **304** zum Zuführen des Dampfes **303** mit der vorbestimmten Temperatur bei einer vorbestimmten Strömungsrate, so dass die Temperatur der Wafer **W** um einen optimalen Unterschied geringer als der Taupunkt des Dampfes **303** ist. Folglich kondensiert der Dampf **303** zweckmäßig in dünnen Reinwasserschichten an den Wafern **W**. Das Ozongas **305** ist in der Lage, sich gleichmäßig in den dünnen Reinwasserschichten aufzulösen, und eine Bedingung, bei der das Ozongas **305** nur in einer Oberflächenschicht von dicken Reinwasserschichten gelöst wird, kann vermieden werden. Da die Heißluft-Zuführeinheit **307** die Wafer **W** auf die Temperatur geringer als dem Taupunkt des Dampfes **303** und in einem Temperaturbereich, der für eine aktive Oxidationsreaktion geeignet ist, erwärmt, kann der Vorgang unter Verwendung von Ozon unterstützt werden.

Da der Dampf **303** in den Bearbeitungsbehälter **302** zugeführt wird, nachdem die Wafer **W** auf die vorbestimmte Temperatur erwärmt wurden, wird eine Bedingung, bei welcher der Dampf **303** auf die Wafer **W** mit einer gewöhnlichen Temperatur aufgebracht wird, und eine große Menge Reinwassertropfen sich an den Wafern **W** bildet, vermieden, die Ausbildung der dünnen Reinwasserschichten kann sichergestellt werden, die Verringerung der Bearbeitungsfähigkeit kann verhindert werden, und die Reinwasserschichten können schnell und leicht ausgebildet werden.

Die Dampf-Zuführeinheit **304** führt den Dampf **303** fortlaufend zu, und die Ozongas-Zuführeinheit **306** führt das Ozongas **305** fortlaufend während des Reinigungsvorganges zu. Folglich löst das Ozongas **305** sich fortlaufend in den Reinwasserschichten. Somit wird die dünne Reinwasserschicht mit Ozon nachgefüllt, wenn Ozon für die Reaktion verbraucht wird, und hinreichendes Ozon wird schnell auf die Resistsschicht durch die dünne Reinwasserschicht aufgebracht, um eine hohe Reaktionsrate aufrechtzuerhalten. Somit kann der Reinigungsvorgang aktiv durchgeführt werden. Vorzugsweise werden die Reinwasserschicht und die Ozonwasserschicht in einer Dicke ausgebildet, die keine Wassertröpfchen ausbildet.

Nachdem die Wafer **W** aus der Reinigungsvorrichtung **300** entnommen wurden, werden Flüssigkeiten von dem Bearbeitungsbehälter **302** durch die erste Ablassleitung **490** abgelassen, und die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** wird durch die Ablasssammler **450** abgelassen. Dann führt die Kühlluft-Zuführeinheit **308** Kühlluft in den Bear-

beitungsbehälter **302** zu, um den Bearbeitungsbehälter **302** von Ozongas **305** und dem Dampf **303** auszublenden. Nach einem dadurch erreichten Trocknen des Inneren des Bearbeitungsbehälters **302** werden Wafer **W** mit einer gewöhnlichen Temperatur, die durch den nächsten Reinigungszyklus zu reinigen sind, in den Bearbeitungsbehälter **302** getragen. Nachdem die Dampf-Zuführeinheit **304** von dem Bearbeitungsbehälter **302** getrennt ist, bleibt der Dampf **303** nicht in dem Bearbeitungsbehälter **302**, der Feuchtigkeitsanteil der Umgebung in dem Reinigungsbehälter **302** kann angepasst werden, und das Innere des Reinigungsbehälters kann leicht getrocknet werden. Folglich ist es möglich, die Kondensation des Dampfes **303**, der in dem Bearbeitungsbehälter **302** verbleibt, in zahlreiche Wassertropfen an den Wafern **W** mit einer gewöhnlichen Temperatur, die gereinigt werden sollen, durch den nächsten Reinigungszyklus zu verhindern. Die Wafer **W**, die in dem Bearbeitungsbehälter **302** angeordnet sind, werden durch die Wärme der Kartuschen-Heizeinrichtung **354** der Dampf-Zuführeinheit **304** nicht betroffen, und somit werden die Wafer **W** nicht übermäßig über eine gewünschte Temperatur erwärmt. Deshalb ist es möglich, beispielsweise einen unerwünschten Zustand zu verhindern, bei dem die Wafer **W** auf eine übermäßig hohe Temperatur oberhalb des Taupunktes des Dampfes **303** erwärmt werden, der Dampf **303** hat Schwierigkeiten beim Kondensieren an den Oberflächen der Wafer **W**, Reinwasserschichten können nicht an den Oberflächen der Wafer **W** ausgebildet werden, und ein Reinigungsvorgang unter Verwendung von Ozon kann nicht erreicht werden.

Die vorliegende Erfindung ist bei seiner praktischen Anwendung nicht auf die vorangehende Ausführungsform beschränkt, und zahlreiche Modifikationen sind möglich. Beispielsweise können der Dampf **303** und das Ozongas **305** gleichzeitig in den Bearbeitungsbehälter **302** zugeführt werden, anstelle des Zuführens von Ozongas **305** nach dem Zuführen des Dampfes in den Bearbeitungsbehälter **302**. Wenn der Dampf **303** und das Ozongas **305** gleichzeitig in den Bearbeitungsbehälter **302** zugeführt werden, werden der Dampf **303** und das Ozongas **305** in einem oberen Bereich des Inneren des Bearbeitungsbehälters **302** gemischt, um ein gemischtes Gas aus Dampf und Ozon zu erzeugen, das eine große Menge von Sauerstoff- und Wasserstoffradikalen enthält. Wenn das gemischte Gas aus Dampf und Ozon die Wafer **W** berührt, bewirken die Radikale, ähnlich zu den ozonhaltigen Wasserschichten, eine Oxidationsreaktion, wodurch das Resist, das die Resistsschichten bildet, in Carbon säure, Kohlendioxid, Wasser und dergleichen zerlegt wird. Somit werden die Radikale, die in dem gemischten Gas aus Dampf und Ozon erzeugt werden, unmittelbar verwendet und reagieren direkt mit den Resistsschichten, bevor selbige verschwinden, und somit ist das gemischte Gas aus Dampf und Ozon in der Lage, eine hohe Reinigungsfähigkeit aufzuweisen. Das gemischte Gas aus Dampf und Ozon kann derart zugeführt werden, dass es von einem oberen Bereich des Inneren des Bearbeitungsbehälters **302** nach unten strömt. Wenn das gemischte Gas aus Dampf und Ozon so zugeführt wird, kann das gemischte Gas aus Dampf und Ozon hinreichend und gleichmäßig auf die Wafer **W** aufgebracht werden, was die Reinigungsfähigkeit des gemischten Gases aus Dampf und Ozon weiterverbessert. Da das Dampf-Ozon-Gas fortlaufend in dem oberen Bereich des Inneren des Bearbeitungsbehälters **302** erzeugt wird, und das gemischte Gas aus Dampf und Ozon schnell auf die Wafer **W** aufgebracht wird, kann der Reinigungsvorgang aktiv durchgeführt werden. Das gemischte Gas aus Dampf und Ozon kondensiert in geeigneter Weise an den Oberflächen der Wafer **W**, und ozonhaltige Wasserschichten mit einer großen Anzahl von Sauerstoff- und Wasserstoffradikalen können un-

mittelbar an den Oberflächen der Wafer W ausgebildet werden. Deshalb können die Resistsschichten hinreichend oxidiert, zerlegt und in wasserlösliche Schichten umgewandelt werden.

Obwohl die Ablasseinheit 309 dieser Ausführungsform die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 durch die Ablasssammler 450 und die erste Ablassleitung 457 ablässt, kann die Ablassrate, bei der die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 durch die erste Ablassleitung 457 abgelassen wird, angepasst werden. Eine Ablasseinheit 510, die in Fig. 34 gezeigt ist, kann anstelle der Ablasseinheit 309 verwendet werden. Wie in Fig. 34 gezeigt ist, weist die Ablasseinheit 510 eine erste Ablassleitung 457 auf, die mit einem Strömungssteuerungsventil 511 versehen ist. Das Strömungssteuerungsventil 511 wird durch die Steuerungseinheit 356 gesteuert. Der Bearbeitungsbehälter 302 ist mit einem Drucksensor 512 versehen, der mit der Steuerungseinheit 356 verbunden ist. Die Steuerungseinheit 356 steuert die Öffnung des Strömungssteuerungsventils 511 auf Basis eines Signals, das dieser durch den Drucksensor 512 gegeben wird.

Während des Reinigungsvorgangs wird die Öffnung des Strömungssteuerungsventils 511 derart angepasst, dass die Strömungsrate des Gases, das durch die erste Ablassleitung 457 strömt, derart angepasst wird, dass der Druck der Umgebung in den Bearbeitungsbehälter 302 auf beispielsweise 196 kPa angepasst wird, um die Ozonkonzentration der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 so zu erhöhen, dass die Auflösung des Ozongases 305 in den Reinwasserschichten verbessert wird. Somit können Reinwasserschichten mit einer sehr hohen Ozonkonzentration an den Wafern W ausgebildet werden, was die Bearbeitungsfähigkeit weiter erhöht.

Es wird bevorzugt, eine kleine Menge von Katalysatorgas, wie z. B. NO_x-Gas, in den Bearbeitungsbehälter 302 zuzuführen, um die Erzeugung der Sauerstoffradikale in den Flüssigkeitsschichten für die Aktivierung der Oxidationsreaktion zu unterstützen.

Die unter Bezugnahme auf die Fig. 16 bis 34 beschriebene Reinigungsvorrichtung ist in der Lage, in geeigneter Weise Dampf an den Wafern W in dünnen Reinwasserschichten zu kondensieren, das Ozongas in den Reinwasserschichten aufzulösen, um Flüssigkeitsschichten mit einer hohen Bearbeitungsfähigkeit an den Wafern W unmittelbar vor Verwendung der Flüssigkeitsschicht zu bilden.

Die Fig. 35 bis 37 zeigen Modifikationen von Komponenten der Reinigungsvorrichtung, die vorangehend unter Bezugnahme auf die Fig. 16 bis 34 beschrieben wurde. Fig. 35 zeigt eine Dampf-Zuführeinheit in einer Modifikation der in Fig. 20 gezeigten Dampf-Zuführeinheit 304. Die Dampf-Zuführeinheit 304, die in Fig. 35 gezeigt ist, unterscheidet sich von der in Fig. 20 gezeigten dahingehend, dass ein Temperatursensor 657 zwischen dem Abschlussventil 376 in der Dampf-Zuführleitung 342 und dem Abschlussventil 381 angeordnet ist. Der Temperatursensor 657 misst die Temperatur des durch den Dampferzeuger 341 erzeugten Dampfes, das Abschlussventil 381 wird offengehalten, um Dampf in die Dampffalle 451 abzulassen, bis der Betriebszustand des Dampferzeugers 341 stabilisiert wird.

Fig. 36 zeigt Modifikationen der Heißluft-Zuführeinheit und der Kühlluft-Zuführeinheit, die in Fig. 24 gezeigt sind. Eine Heißluft-Zuführeinheit und eine Kühlluft-Zuführeinheit, die in Fig. 36 gezeigt sind, unterscheiden sich von der in Fig. 24 gezeigten Heißluft-Zuführeinheit und der Kühlluft-Zuführeinheit dahingehend, dass die Kühlluft-Zuführleitung 445 mit einem Temperatursensor 694 versehen ist. Wenn Luft in den Bearbeitungsbehälter 302 zugeführt wird, wird das Abschlussventil 412 geschlossen, und das Ab-

schlussventil 446 wird geöffnet. Luft, die von der Luftquelle 406 zugeführt wird, strömt durch die Kühlluft-Zuführleitung 445 unter Umgehung des Heißluftherzeugers 401 in die Heißluft-Zuführleitung 402 und wird durch die Heißluftdüsen 404 in den Bearbeitungsbehälter 302 ausgestoßen. Eine Luftablassleitung 695, die mit einem Abschlussventil 696 versehen ist, ist mit der Kühlluft-Zuführleitung 445 zum Ablassen von Luft in den Ablasssammler 454 verbunden.

Wie in Fig. 38 gezeigt ist, stoßen die Luft-Zuführdüsen 404 Luft nach oben entlang der Innenfläche des Bearbeitungsbehälters 302 aus. Heiße Luft 403, die durch die Luft-Zuführdüsen 404 ausgestoßen wird, strömt in Richtung eines oberen Bereichs des Inneren des Bearbeitungsbehälters 302 entlang der Innenfläche des Bearbeitungsbehälters 302, und strömt dann nach unten in Richtung der Wafer W, um die Wafer W gleichmäßig zu erwärmen.

Fig. 37 zeigt ein Ablasseinheit 309 in einer Modifikation der in Fig. 28 gezeigten Ablasseinheit 309. Die in Fig. 37 gezeigte Ablasseinheit unterscheidet sich von der in Fig. 28 gezeigten dahingehend, dass die erste Ablassleitung 457, d. h. eine Gasablassleitung zum Ablassen des Dampfes und des in den Bearbeitungsbehälter 302 zugeführten Ozongases von dem Bearbeitungsbehälter 302, mit einem Dreiwegeventil 707 versehen ist, und eine Heißluft-Ablassleitung 708 ist mit dem Dreiwegeventil 707 verbunden. Der Ablasssammler 454, der mit der zweiten Ablassleitung 417 verbunden ist, die mit der Ablasseinheit 461 der Dampffalle 451 verbunden ist, ist mit einer Ozonkonzentration-Messvorrichtung 717 zum Messen der Ozonkonzentration des in dem Ablasssammler 454 abgelassenen Gases versehen. Die Ozonentfernungsfähigkeit des Ozonerstörers 452 wird anhand der durch die Ozonkonzentration-Messvorrichtung 717 gemessenen Ozonkonzentration eingeschätzt. Somit wird die Ozonentfernungsfähigkeit des Ozonerstörers 452 überwacht, um das Ablassen eines Gases zu verhindern, das eine hohe Ozonkonzentration infolge einer Fehlfunktion des Ozonerstörers 452 aufweist.

Ein Reinigungsverfahren, das durch die Reinigungsvorrichtung 300 mit den vorangehenden Modifikationen durchgeführt wird, wird nachfolgend beschrieben. Zunächst wird das Dreiwegeventil 707 (vgl. Fig. 37) derart eingestellt, dass der Bearbeitungsbehälter 302 mit der Heißluft-Ablassleitung 308 verbunden wird, und dann wird die Heißluft 403 in den Bearbeitungsbehälter 302 zum Erwärmen der Wafer W ausgestoßen. Da die Heißluft 403 für den menschlichen Körper keine Schäden verursacht, muss keine besondere Entfernungsvorrichtung für schädliche Substanzen in der Heißluft-Ablassleitung 708 angeordnet werden. Deshalb besteht die Heißluft-Ablassleitung 708 nur aus Röhren, um einen Druckverlust in der Heißluft 403, die durch die Heißluft-Ablassleitung 708 strömt, auf das geringstmögliche Ausmaß zu verringern.

Wenn die Wafer W unter Verwendung des Dampfes 303 und des Ozongases 305 bearbeitet werden, und wenn die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 nach dem Vollenden des Reinigungsvorgangs ausgeblasen wird, wird das Dreiwegeventil 707 derart eingestellt, dass es den Bearbeitungsbehälter 302 mit der Dampffalle 451 (460, 461) verbindet, um den Dampf 303 und das Ozongas 305 von dem Bearbeitungsbehälter 302 durch die Ablasssammler 405 und die erste Ablassleitung 457 in die Ablasseinheit 461 der Dampffalle 451 abzulassen. Da Kühlwasser durch die Kühlwasser-Zuführleitung 465 der Kühleinheit 460 der Dampffalle 451 zugeführt wird, wird der von dem Bearbeitungsbehälter 302 in die Dampffalle 451 abgelassene Dampf 303 gekühlt, und es wird bewirkt, dass dieser in Wassertröpfchen kondensiert, und die Wassertröpfchen werden in der Ablasseinheit 461 gesammelt. Das Ozongas 305 strömt in die Ab-

lassenheit **461**. Das von dem Bearbeitungsbehälter **302** abgelassene Gas wird somit in das Ozongas und Wassertröpfchen geteilt. Der Ozonerstörer **452** entfernt Ozon von dem in die Ablasseinheit **461** der Dampfalle **451** abgelassenen Gas, während das Gas durch die Gas-Ablasseitung **470** strömt, um ein schadloses Gas nach außen abzulassen. Wenn die Wafer W unter Verwendung des Dampfes und des Ozongases bearbeitet werden, kann eine unter Druck gesetzte Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** erzeugt werden, indem die Stellung des Dreiweiventils **707**, des Abschlussventils **492** und eines Strömungssteuerungsventils gesteuert werden, das in der Gas-Ablasseitung **457** angeordnet ist.

Dampf und Reinwasser, das von dem Dampferzeuger **341** abgelassen wird, strömen durch die Dampf-Ablasseitung **380** in die Ablasseinheit **461** der Dampfalle **451**; das Wasser tropft in die Ablasseinheit **461**, der Dampf wird gekühlt und kondensiert in Wassertröpfchen, während selbiger durch die Kühleinheit **460** strömt, und die Wassertropfen tropfen in die Ablasseinheit **461**.

Das durch die Reinigungsvorrichtung **300** durchzuführende Reinigungsverfahren wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 3, 4** und **5**, ein in **Fig. 39** gezeigtes Flussdiagramm und ein in **Fig. 40** gezeigtes Diagramm erläutert. Für eine vorbestimmte Temperatur, auf die in der nachfolgenden Beschreibung Bezug genommen wird, wird angenommen, dass sie in einem Bereich von beispielsweise 80 bis 120°C liegt.

Wie in **Fig. 3** gezeigt ist, werden fünfzig Wafer W, die jeweils mit einer Resistschicht **30** versehen sind, durch einen Übertragungsmechanismus, der nicht gezeigt ist, zu dem Waferschiffchen **6** übertragen. Das Waferschiffchen **6**, das die Wafer W hält, wird in dem Bearbeitungsbehälter **302** angeordnet, und die obere Abdeckung **312** wird auf den Bearbeitungsbehälter **302** gelegt. Dann setzt die Steuerungseinheit **356** die Gummi-Heizeinrichtungen **430, 431** und **432** unter Energie, um die Wände des Bearbeitungsbehälters **302** derart zu erwärmen, dass die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** auf 80°C erwärmt wird. Währenddessen wird Luft, die auf eine Temperatur im Bereich von beispielsweise 200 bis 300°C erwärmt ist, durch die Luft-Zuführdüsen **404** in die Bearbeitungskammer **302** bei einer Ausstoßrate von beispielsweise 100 l/min ausgestoßen, um die Wafer W in Schritt S1 (vgl. **Fig. 39**) für eine Zeitdauer zwischen den Zeiten T1 und T2 (vgl. **Fig. 40**) zu erwärmen. Wünschenswerterweise werden die Gummi-Heizeinrichtungen **430, 431, 432** unter Energie gesetzt, um die Wände des Bearbeitungsbehälters **302** vor dem Tragen der Wafer W in den Bearbeitungsbehälter **302** zu erwärmen.

Wie in **Fig. 38** gezeigt ist, stoßen die Luft-Zuführdüsen **404** Heißluft **304** nach oben entlang der Innenflächen des Bearbeitungsbehälters **302** aus. Die durch die Luft-Zuführdüsen **404** ausgestoßene Heißluft **403** strömt in Richtung eines oberen Bereichs des Inneren des Bearbeitungsbehälters **302** entlang der Innenflächen des Bearbeitungsbehälters **302**, und strömt dann nach unten in Richtung eines Bodenbereichs des Inneren des Bearbeitungsbehälters **302**, wobei die Wafer W erwärmt werden. Somit können die Wafer W schnell und gleichmäßig erwärmt werden. Die Heißluft **403** wird durch Konvektion in dem Bearbeitungsbehälter **302** zirkuliert. Sämtliche fünfzig Wafer W können durch das Zirkulieren der Heißluft **403** gleichmäßig auf 80°C erwärmt werden.

Da die Wafer W intensiv mit der Heißluft **403** erwärmt werden können, können die Wafer W in einer kurzen Erwärmungszeit von beispielsweise zwei Minuten auf eine vorbestimmte Temperatur erwärmt werden. Wenn die Wafer W schnell auf die vorbestimmte Temperatur durch Verwendung lediglich der Gummi-Heizeinrichtungen **430, 431** und

432 erwärmt werden, werden die Wände des Bearbeitungsbehälters **302** auf eine übermäßig hohe Temperatur oberhalb der vorbestimmten Temperatur erwärmt. Da die Wände des Bearbeitungsbehälters **302** eine große Wärmekapazität aufweisen, braucht es eine lange Zeit, um die Wände des Bearbeitungsbehälters **302**, die auf eine übermäßig hohe Temperatur erwärmt wurden, auf die vorbestimmte Temperatur zu stabilisieren. Somit verhindert die Verwendung der Heißluft **403** zum Erwärmen der Wafer W eine Erwärmung der Wände des Bearbeitungsbehälters **302** auf eine übermäßig hohe Temperatur und vermeidet Zeit und Arbeit, die für die Stabilisierung der Temperatur des Bearbeitungsbehälters **302** erforderlich ist.

Während des Wafererwärmungsvorgangs ist das Dreiweiventil **707** (vgl. **Fig. 37**) derart eingestellt, dass es den Bearbeitungsbehälter **302** mit der Heißluft-Ablasseitung **708** verbindet, um die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** nach außen durch die Heißluft-Ablasseitung **708** abzulassen. Wie oben erwähnt, muss die Heißluft in dem Bearbeitungsbehälter **302** bei 100 l/min zugeführt werden, um die Wafer schnell zu erwärmen. Der Druck in dem Bearbeitungsbehälter **302** steigt nicht übermäßig an, auch wenn die Heißluft bei einer derart hohen Strömungsrate in den Bearbeitungsbehälter **302** zugeführt wird, weil die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** durch die Heißluft-Ablasseitung **708** abgelassen wird. Folglich ist es möglich, einen gefährlichen Unfall, wie z. B. einen Bruch des Fensters **323** (vgl. **Fig. 17**) der oberen Abdeckung **312**, zu vermeiden.

Die Zuführung der Heißluft **403** wird angehalten, nachdem die Wafer W auf 80°C erwärmt wurden, der Bearbeitungsbehälter **302** wird, wie er ist, für beispielsweise eine Minute, d. h. ein Zeitintervall zwischen den Zeiten T2 und T3 in **Fig. 40** gelassen, um die Temperatur der Wafer W in Schritt S2 (vgl. **Fig. 39**) zu stabilisieren. Die Steuerungseinheit **356** versorgt die Gummi-Heizeinrichtungen **430, 431** und **432** weiterhin mit Energie, um die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302** auf 80°C zu halten, nachdem die Zuführung der Heißluft **403** angehalten wurde. In dem Zeitintervall zwischen den Zeiten T2 und T3 wird die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter **302**, welche die Wafer W umgibt, gleichmäßig auf der vorbestimmten Temperatur aufrechterhalten, um die Temperaturverteilung in der Oberfläche eines jeden Wafers W zu verbessern. Die Heißluft **403** wird durch die Heißluft-Ablasseitung **708** abgelassen. Da Luft eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist, wird die Energie der Heißluft **403** nicht in dem Bearbeitungsbehälter **302** gesammelt, und wird unmittelbar nach außerhalb dissipiert, und somit werden die Wafer W nicht übermäßig erwärmt, wenn die Zuführung der Heißluft **403** angehalten wird. Da die Heißluft **403** zum Erwärmen der Wafer W verwendet wird, werden die Wafer W nicht auf Temperaturen über die vorbestimmte Temperatur hinaus erwärmt, und die Wafer W können schnell erwärmt werden.

In Schritt S3 werden Dampf **303** und Ozongas **305** in den Bearbeitungsbehälter **302** zugeführt, um die Wafer W dem Reinigungsverfahren unter Verwendung von Ozon für fünf Minuten zwischen den Zeiten T3 und T4 gemäß **Fig. 40** zu unterwerfen. Wie vorangehend in der Beschreibung, die in Zusammenhang mit **Fig. 10** gegeben wurde, erwähnt, wird eine Ozon-Wasser-Molekülschicht mit Wassermolekülen **161** und Ozonmolekülen **162** an der Oberfläche eines jeden Wafers W ausgebildet. Die Wassermoleküle **161** und die Ozonmoleküle **162** wirken in der Ozon-Wasser-Molekülschicht zusammen, um eine große Menge von reaktiven Substanzen, wie z. B. Sauerstoffradikale und Hydroxylradikale, zu erzeugen. Die Hydroxylradikale, die somit an den Oberflächen der Wafer W erzeugt werden, verschwinden nicht, sie verursachen unmittelbar eine Oxidationsreaktion

und zerlegen das Resist, das die Resistschichten bildet, in Carbonsäure, Kohlendioxid, Wasser und dergleichen. Folglich wird das Resist, das die Resistschichten bildet, vollständig oxidiert und zerlegt, und die Resistschichten werden in wasserlösliche Schichten verändert. Die wasserlöslichen Schichten können leicht durch Abspülen unter Verwendung von Reinwasser entfernt werden. Während des Vorgangs unter Verwendung von Ozon kann das Dreiwegeventil 707 derart eingestellt sein, dass es den Bearbeitungsbehälter 302 mit der Heißluft-Ablasseitung 708 verbindet, um die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 abzulassen.

Nachfolgend wird in Schritt S4 (vgl. Fig. 39) die Zuführung des Dampfes 309 und des Ozongases 305 angehalten, und der Bearbeitungsbehälter 302 wird von Ozon für zwei Minuten nach der Zeit T4 (vgl. Fig. 40) ausgeblasen. Das Dreiwegeventil 707 ist derart eingestellt, dass es den Bearbeitungsbehälter 302 mit der ersten Ablasseitung 457 verbindet, Luft mit gewöhnlicher Temperatur wird durch die Luft-Zuführdüsen 404 in den Bearbeitungsbehälter 302 ausgestoßen, um den Bearbeitungsbehälter 302 von dem Dampf und dem Ozongas 305 auszublasen. Die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302, die von dem Bearbeitungsbehälter 302 abgelassen wird, wird durch die Kühleinheit 460 der Dampffalle 451 gekühlt, um den Dampf 303 in Reinwasser zu kondensieren. Das Reinwasser tropft in die Ablasseinheit 461. Das Ozongas 305 wird durch die Ablasseinheit 461 der Dampffalle 451 und die zweite Ablasseitung 470 abgelassen. Der Ozonzerstörer 452 entfernt Ozon von dem in die Ablasseinheit 461 der Dampffalle 451 abgelassenen Gas, während das Gas durch die Gas-Ablasseitung 470 strömt, um ein schadloses Gas nach außen abzulassen.

Somit dauert ein Reinigungszyklus, d. h. die Schritte S1 bis S4 eines Reinigungsvorgangs 10 Minuten. Das Abschlussventil 492 wird geöffnet, um die Flüssigkeit, die in dem Bearbeitungsbehälter 302 gesammelt ist, durch die erste Ablasseitung 490 abzulassen. Der Dampf 303 und das Ozongas 305 können von dem Bearbeitungsbehälter 302 durch Evakuieren anstelle von Ausblasen entfernt werden.

Dann wird die obere Abdeckung 312 entfernt, und die Wafer W werden aus dem Bearbeitungsbehälter 302 entnommen, um den Reinigungsvorgang zu vollenden. Die Wafer W werden durch einen Wafertragemechanismus zu einer Abspülvorrichtung getragen, und die Wafer W werden mit Reinwasser abgespült. Da die Resistschichten der Wafer W in wasserlösliche Schichten verändert wurden, können die wasserlöslichen Schichten leicht von dem Wafer W durch die Abspülvorrichtung entfernt werden. Dann werden die Wafer W von der Abspülvorrichtung durch den Wafertragemechanismus zu einer Trocknungsvorrichtung getragen, um die Wafer W einem Trocknungsvorgang zu unterwerfen.

Die Wafer W können durch Erwärmen der Wände des Bearbeitungsbehälters 302 und der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 schnell auf 80°C erwärmt werden. Das Erwärmen der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 wird angehalten, und die Wände des Bearbeitungsbehälters 302 werden weiterhin erwärmt, nachdem die Temperatur der Wafer W 80°C erreicht hat, um die übermäßige Erwärmung der Wafer W zu vermeiden, und die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 und der Wafer W auf 80°C aufrechtzuerhalten. Nach dem Verstreichen einer vorbestimmten Zeit, die erforderlich ist, um die Temperaturverteilung in dem Bearbeitungsbehälter 302 gleichmäßig zu machen, werden der Dampf 303 und das Ozongas 305 in den Bearbeitungsbehälter 302 zugeführt, und der Vorgang unter Verwendung von Ozon wird durchgeführt.

Dieses Reinigungsverfahren erwärmt die Wände des Bearbeitungsbehälters 302 und die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 durch die Gummi-Heizeinrichtungen 430,

431 und 432, und erwärmt die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 und die Wafer W durch die Heißluft-Zuführinheit 307 unter Verwendung von Heißluft anstelle von Erwärmen der Wände des Bearbeitungsbehälters 302, der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 und der Wafer W durch eine einzige Heizeinrichtung. Deshalb ist das Reinigungsverfahren in der Lage, die Wafer W schnell auf 80°C zu erwärmen, eine hinreichende Bearbeitungszeit kann verwendet werden, ohne den Durchsatz zu verringern, und der Ertrag und die Produktivität können verbessert werden.

Da Heißluft für den menschlichen Körper schadlos ist, muss die Heißluft-Ablasseitung 708 nicht mit irgendeiner Vorrichtung versehen sein, die einen Druckverlust verursacht, wie z. B. einem Ozonzerstörer. Das Ozongas wird durch die erste Ablasseitung 457, und die zweite Ablasseitung 470 abgelassen, die mit dem Ozonzerstörer 452 versehen ist, und die Heißluft wird durch die Heißluft-Ablasseitung 708 abgelassen. Deshalb kann das Ozongas sicher abgelassen werden, und die Heißluft, die zum Erwärmen der Wafer verwendet wird, kann schnell abgelassen werden. Wenn die Heißluft durch die zweite Ablasseitung 470 bei einer hohen Ablassrate abgelassen wird, muss der Ozonzerstörer 452 in großen Abmessungen ausgebildet werden, um einen Druckverlust zu vermeiden, was die Herstellungskosten der Reinigungsvorrichtung erhöht. Da die Heißluft durch die Heißluft-Ablasseitung 708 abgelassen wird, kann der Ozonzerstörer 452 in minimale Abmessungen ausgebildet werden, die nur für das Entfernen von Ozon erforderlich sind, was die Herstellungskosten der Reinigungsvorrichtung auf einem niedrigen Niveau hält.

Die Luft-Zuführdüsen 404 sind derart angeordnet, dass die Heißluft 403 entlang der Innenfläche des Bearbeitungsbehälters 302 nach oben und nach unten in Richtung der Wafer W strömt, und der Bearbeitungsbehälter 302 wird gelassen, wie er ist, und zwar für die vorbestimmte Zeit zum Stabilisieren der Temperatur der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 auf 80°C. Folglich wird die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 gleichmäßig auf der vorbestimmten Temperatur aufrechterhalten, auch wenn fünfzig Wafer in dem Bearbeitungsbehälter 302 angeordnet sind, um die Temperaturverteilung in der Oberfläche eines jeden Wafers W zu verbessern, und der Vorgang unter Verwendung von Ozon kann in zweckmäßiger Weise durchgeführt werden.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf ihre Anwendung auf die vorangehenden Ausführungsformen beschränkt, und verschiedene Modifikationen sind hierbei möglich. Beispielsweise kann eine kleine Menge von Luft in den Bearbeitungsbehälter 302 zugeführt werden, um die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 umzurühren, wenn die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 gleichmäßig gemacht wird. Die Zuführung von Luft in den Bearbeitungsbehälter 302 zum Umrühren der Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 verbessert die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung in dem Bearbeitungsbehälter 302. Die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 kann durch eine Umrührmaschine, wie z. B. ein Gebläse, umgerührt werden. Der Bearbeitungsbehälter 302 kann intern mit einem Lüftungsrad versehen sein, und das Lüftungsrad kann derart betrieben werden, dass die Temperaturverteilung in dem Bearbeitungsbehälter 302 gleichmäßig gemacht wird, wenn die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter 302 stabilisiert wird.

Der Bearbeitungsbehälter 302 kann an seiner Innenfläche mit Prallplatten 740, wie gezeigt in Fig. 41, versehen sein, um die Heißluft 403 zu verteilen. Die Prallplatten 740 verteilen die Heißluft 403, die nach oben durch die Luft-Zuführdüsen 404 in den Bearbeitungsbehälter 302 gespritzt

wird, so dass die Heißluft gleichmäßiger auf die Wafer W aufgebracht werden kann.

Ein Gas mit einer geeigneten spezifischen Wärme, wie z. B. Argongas oder Heliumgas, oder ein Inertgas, wie z. B. Stickstoffgas, kann anstelle der Heißluft verwendet werden. Eine Lampen-Heizeinrichtung oder ähnliches kann anstelle der Heißluft-Zuführeinheit 307 verwendet werden, um die Zeit zu verkürzen, die erforderlich ist, um die Wafer W durch Aufbringen von Energie in intensiver Art und Weise auf die Wafer W auf die vorbestimmte Temperatur zu erwärmen.

Obwohl die Erfindung auf das Entfernen der Resist-schichten von den Wafern unter Verwendung von Ozongas beschrieben wurde, ist die vorliegende Erfindung auf die Entfernung von anderen Schichten als Resist-schichten anwendbar. Beispielsweise ist die vorliegende Erfindung auf die Entfernung einer organischen Schicht, wie z. B. einer BARC (bottom antireflective coating; Bodenantirefektiv-Überzug) anwendbar, der unter der Resist-schicht zur Verbesserung einer Auflösung ausgebildet ist. Die vorliegende Erfindung kann auf die Entfernung verschiedener Ablagerungen angewendet werden, die an die Oberflächen von Wafern haften, und zwar durch Verwendung eines anderen Betriebsgases als Ozongas.

Beispielsweise können metallische Unreinheiten und Teilchen von Wafern unter Verwendung von Chlorradikalen entfernt werden, die in einer Salzsäureschicht (HCl-Schicht) erzeugt werden, die an den Oberflächen der Wafer W durch Auflösen von Chlorgas (Cl_2 -Gas) in Reinwasserschichten ausgebildet wird. Teilchen und Oxidschichten, die durch natürliche Oxidation ausgebildet werden, können von Wafern unter Verwendung von Fluorradikalen entfernt werden, die in einer Fluorwasserstoffsäureschicht (HF-Schicht) erzeugt werden, die an den Oberflächen der Wafer W durch Auflösen von Fluor-gas (F_2) in Reinwasserschichten erzeugt wird.

Radikale können in einem Betriebsgas durch Anregen des Betriebsgases erzeugt werden. Ozongas mit Sauerstoffradikalen, Chlorgas mit Chlorradikalen, Wasserstoffgas mit Wasserstoffradikalen und Fluorgas mit Fluorradikalen kann verwendet werden, um den Reinigungsvorgang zu unterstützen.

Die vorliegende Erfindung ist nicht nur auf die Reinigung von Wafern anwendbar, sondern sie ist auch auf das Aufbringen einer vorbestimmten Bearbeitungsflüssigkeit auf die Oberflächen der Wafer anwendbar. Die vorliegende Erfindung ist nicht nur auf ein Ladungs-Bearbeitungssystem anwendbar, das mehrere Wafer in einer Ladung bearbeitet, sondern auch auf ein Einzelwafer-Bearbeitungssystem, das die Wafer nacheinander bearbeitet. Die Objekte, die zu bearbeiten sind, sind nicht auf Wafer beschränkt, und können LCD-Substrate, CDs, Leiterplatten, keramische Substrate oder ähnliches sein.

Patentansprüche

1. Substrat-Bearbeitungsverfahren mit folgenden Schritten:
Anordnen eines Substrats in einem Bearbeitungsbehälter;
Ausbilden einer Schicht eines Lösungsmittels über einer Oberfläche des Substrats; und
Auflösen eines Betriebsgases in der Schicht des Lösungsmittels.
2. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 1, ferner mit folgendem Schritt:
Erzeugen eines Dampfes des Lösungsmittels in dem Bearbeitungsbehälter.
3. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 1,

ferner mit folgendem Schritt:

Erzeugen eines Dampfes des Lösungsmittels außerhalb des Bearbeitungsbehälters.

4. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 1, ferner mit folgendem Schritt:

Ausblasen einer Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter vor dem Schritt des Anordnens eines Substrats in dem Bearbeitungsbehälter.

5. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 1, ferner mit folgendem Schritt:

Zuführen eines heißen Gases in den Bearbeitungsbehälter zur Anpassung einer Temperatur des Substrats, während die Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter ausgeblasen wird.

6. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 1, wobei das Lösungsmittel Wasser ist, und das Betriebsgas Ozongas ist.

7. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Ausbildens einer Schicht aus Lösungsmittel über einer Oberfläche des Substrats folgenden Schritt aufweist:

Kondensieren eines Dampfes des Lösungsmittels an einer Oberfläche des Substrats.

8. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 7, wobei der Schritt des Kondensierens eines Dampfes des Lösungsmittels auf der Oberfläche des Substrats folgenden Schritt aufweist:

Anpassen einer Temperatur des Substrats auf eine Temperatur geringer als dem Taupunkt des Dampfes des Lösungsmittels.

9. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 8, ferner mit folgendem Schritt:

Zuführen des Dampfes des Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter nach dem Schritt der Anpassung einer Temperatur des Substrats.

10. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 8, ferner mit folgendem Schritt:

Zuführen des Dampfes des Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter vor dem Schritt des Anpassens einer Temperatur des Substrats.

11. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 9, wobei der Schritt des Anpassens einer Temperatur des Substrats folgenden Schritt aufweist:

Erwärmen des Substrats.

12. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 11 (13), wobei der Schritt des Erwärmens des Substrats folgenden Schritt aufweist:

Zuführen eines heißen Gases in den Bearbeitungsbehälter.

13. Substrat-Bearbeitungsverfahren mit folgenden Schritten:

Anordnen eines Substrats in einem Bearbeitungsbehälter;

Zuführen eines Dampfes eines Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter;

Zuführen eines Betriebsgases in den Bearbeitungsbehälter;

Erzeugen einer reaktiven Substanz durch Wechselwirkung zwischen dem Dampf des Lösungsmittels und dem Betriebsgas; und

Bearbeiten des Substrats mit der reaktiven Substanz.

14. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Unter-Druck-Setzen einer Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter.

15. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Erzeugen eines Dampfes des Lösungsmittels in dem

Bearbeitungsbehälter.

16. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Erzeugen eines Dampfes des Lösungsmittels außerhalb des Bearbeitungsbehälters.

17. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, wobei der Schritt des Erzeugens einer reaktiven Substanz durch Wechselwirkung zwischen dem Dampf des Lösungsmittels und dem Betriebsgas den folgenden Schritt aufweist:

Ausbilden einer gemischten Molekülschicht einer Mischung von Molekülen des Lösungsmittels und von Molekülen des Betriebsgases.

18. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Anpassen einer Temperatur des Substrats auf eine Temperatur höher als dem Taupunkt des Dampfes des Lösungsmittels und niedriger als eine Temperatur des Dampfes des Lösungsmittels.

19. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Anpassen der Temperatur des Substrats auf eine vorbestimmte Temperatur vor dem Schritt der Zuführung eines Dampfes des Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter.

20. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 19, wobei der Schritt des Anpassens der Temperatur des Substrats auf eine vorbestimmte Temperatur folgenden Schritt aufweist:

Zuführen eines Gases einer gewünschten Temperatur in den Bearbeitungsbehälter.

21. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, wobei der Schritt des Zuführens eines Betriebsgases in den Bearbeitungsbehälter vor dem Schritt des Zuführens eines Dampfes des Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter durchgeführt wird.

22. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, wobei das Lösungsmittel Wasser ist, und das Betriebsgas Ozongas ist.

23. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 18, wobei der Schritt des Zuführens eines Dampfes des Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter vor dem Schritt der Anpassung einer Temperatur des Substrats durchgeführt wird.

24. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Ausblasen einer Umgebung in den Bearbeitungsbehälter vor dem Schritt des Anordnens des Substrats in dem Bearbeitungsbehälter.

25. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Zuführen eines heißen Gases in den Bearbeitungsbehälter zum Anpassen einer Temperatur des Substrats, während die Umgebung des Bearbeitungsbehälters ausgeblasen wird.

26. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgendem Schritt:

Anpassen einer Temperatur einer Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter auf eine vorbestimmte Temperatur;

Anpassen einer Temperatur des Substrats auf eine vorbestimmte Temperatur; und
Stabilisieren der Umgebung auf die vorbestimmte Temperatur;

wobei die genannten Schritte vor den Schritten der Zuführung eines Dampfes des Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter und des Zuführens eines Betriebsgases in den Bearbeitungsbehälter durchgeführt wer-

den.

27. Substrat-Bearbeitungsverfahren nach Anspruch 13, ferner mit folgenden Schritten:

Erwärmen des Bearbeitungsbehälters;
Erwärmen einer Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter; und

Anhalten des Erwärmens der Umgebung;
wobei die Schritte der Zuführung eines Dampfes des Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter und der Zuführung eines Betriebsgases in den Bearbeitungsbehälter nach dem Verstreichen einer vorbestimmten Zeit nach Vollendung des Schrittes des Anhaltens der Erwärmung der Umgebung durchgeführt werden.

28. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung mit:
einem Bearbeitungsbehälter, der eine Bearbeitungskammer definiert, in der Substrate bearbeitet werden;
einem Betriebsgas-Zuführbereich zum Zuführen eines Betriebsgases in die Bearbeitungskammer in dem Bearbeitungsbehälter;

einem Lösungsmitteldampf-Zuführbereich zum Zuführen eines Dampfes eines Lösungsmittels in die Bearbeitungskammer des Bearbeitungsbehälters; und
einem Substrat-Haltelement zum Halten von Substraten in der Bearbeitungskammer des Bearbeitungsbehälters.

29. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, ferner mit:

einer Substrattemperatur-Steuerungseinrichtung zum Anpassen einer Temperatur der durch das Substrat-Haltelement in der Bearbeitungskammer gehaltenen Substrate.

30. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 29, wobei die Substrattemperatur-Steuerungseinrichtung Folgendes aufweist:

eine Heizeinrichtung, die in den Bearbeitungsbehälter eingearbeitet ist.

31. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 29, wobei die Substrattemperatur-Steuerungseinrichtung Folgendes aufweist:

einen Temperaturanpassungs-Gaszuführbereich zum Zuführen eines Gases einer regulierten Temperatur in die Bearbeitungskammer.

32. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 31, ferner mit:

einer ersten Ablassleitung zum Ablassen des Betriebsgases und des Dampfes des Lösungsmittels, die in den Bearbeitungsbehälter zugeführt wurden, aus dem Bearbeitungsbehälter; und

einer zweiten Ablassleitung zum Ablassen des Gases mit regulierter Temperatur, das in den Bearbeitungsbehälter zugeführt wurde, aus dem Bearbeitungsbehälter.

33. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 31, wobei der Temperaturanpassungs-Gaszuführbereich Folgendes aufweist:

eine Gas-Zuführdüse, durch die ein Temperaturanpassungsgas in den Bearbeitungsbehälter ausgestoßen wird.

34. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 33, wobei die Gas-Zuführdüse derart anpassbar ist, dass eine Gasausstoßrichtung der Gas-Zuführdüse verändert wird.

35. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 33, ferner mit:

Ablenkungsplatten zum Ablenken eines Gases, das durch die Gas-Zuführdüsen ausgestoßen wird.

36. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, wobei der Lösungsmitteldampf-Zuführbereich eine Lösungsmitteldampf-Zuführdüse zum Ausstoßen eines

Dampfes eines Lösungsmittels in den Bearbeitungsbehälter aufweist.

37. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 36, wobei die Lösungsmitteldampf-Zuführdüse derart anpassbar ist, dass eine Lösungsmitteldampf-Ausstoßrichtung der Lösungsmitteldampf-Zuführdüse verändert wird. 5

38. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 34, wobei der Betriebsgas-Zuführbereich Betriebsgas-Zuführdüsen zum Ausstoßen eines Betriebsgases in den Bearbeitungsbehälter aufweist. 10

39. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 37, wobei die Betriebsgas-Zuführdüse derart anpassbar ist, dass eine Betriebsgas-Ausstoßrichtung der Betriebsgas-Zuführdüse verändert wird. 15

40. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, wobei der Lösungsmitteldampf-Zuführbereich einen Lösungsmitteldampf-Erzeuger aufweist, der in dem Bearbeitungsbehälter angeordnet ist.

41. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, wobei der Lösungsmitteldampf-Zuführbereich einen Lösungsmitteldampf-Erzeuger aufweist, der außerhalb des Bearbeitungsbehälters angeordnet ist.

42. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 41, ferner mit: 25

einer Flüssigkeitsfalle, die außerhalb des Bearbeitungsbehälters angeordnet ist, zum Kondensieren eines Fluids, das durch den Lösungsmitteldampf-Zuführbereich erzeugt wird und eines Fluids, das von dem Bearbeitungsbehälter abgelassen wird, um Flüssigkeiten, die in den Fluiden enthalten sind, von Gasen, die in den Fluiden enthalten sind, zu trennen. 30

43. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, ferner mit:

einer Ablassleitung zum Ablassen einer Umgebung in dem Bearbeitungsbehälter von dem Bearbeitungsbehälter mit einer Ablassraten-Anpasseinrichtung zum Anpassen einer Ablassrate der Umgebung. 35

44. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, ferner mit: 40

einem Trocknungsgas-Zuführsystem zum Zuführen eines Trocknungsgases in den Bearbeitungsbehälter.

45. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, ferner mit: 45

einem Bearbeitungsflüssigkeits-Zuführsystem zum Zuführen einer Bearbeitungsflüssigkeit in den Bearbeitungsbehälter.

46. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 28, ferner mit:

einem zweiten Behälter, der an den Bearbeitungsbehälter benachbart vorgesehen ist und eine zweite Bearbeitungskammer definiert; und 50

einem Bearbeitungsflüssigkeits-Zuführsystem zum Zuführen einer Bearbeitungsflüssigkeit in die zweite Bearbeitungskammer. 55

47. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 46, ferner mit:

einem Schließer, der zwischen dem Bearbeitungsbehälter und dem zweiten Behälter zum Trennen des Bearbeitungsbehälters und des zweiten Behälters voneinander angeordnet ist, und um zuzulassen, dass der Bearbeitungsbehälter und der zweite Behälter miteinander in Verbindung stehen. 60

48. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 46, wobei der zweite Behälter unterhalb des Bearbeitungsbehälters angeordnet ist, und ein Schließer vorgesehen ist, um den Bearbeitungsbehälter und den zweiten Behälter bezüglich einer vertikalen Richtung offen-

bar zu teilen.

49. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 46, ferner mit einem Substrat-Tragesystem zum Tragen des Substrat-Haltelements zwischen dem Bearbeitungsbehälter und dem zweiten Behälter.

50. Substrat-Bearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 46, ferner mit:

einer Diffusionsverhinderungsbox, die unterhalb des Bearbeitungsbehälters und des zweiten Behälters angeordnet ist, um eine Diffusion abgelassener Gase und abgelassener Flüssigkeiten zu verhindern.

Hierzu 30 Seite(n) Zeichnungen

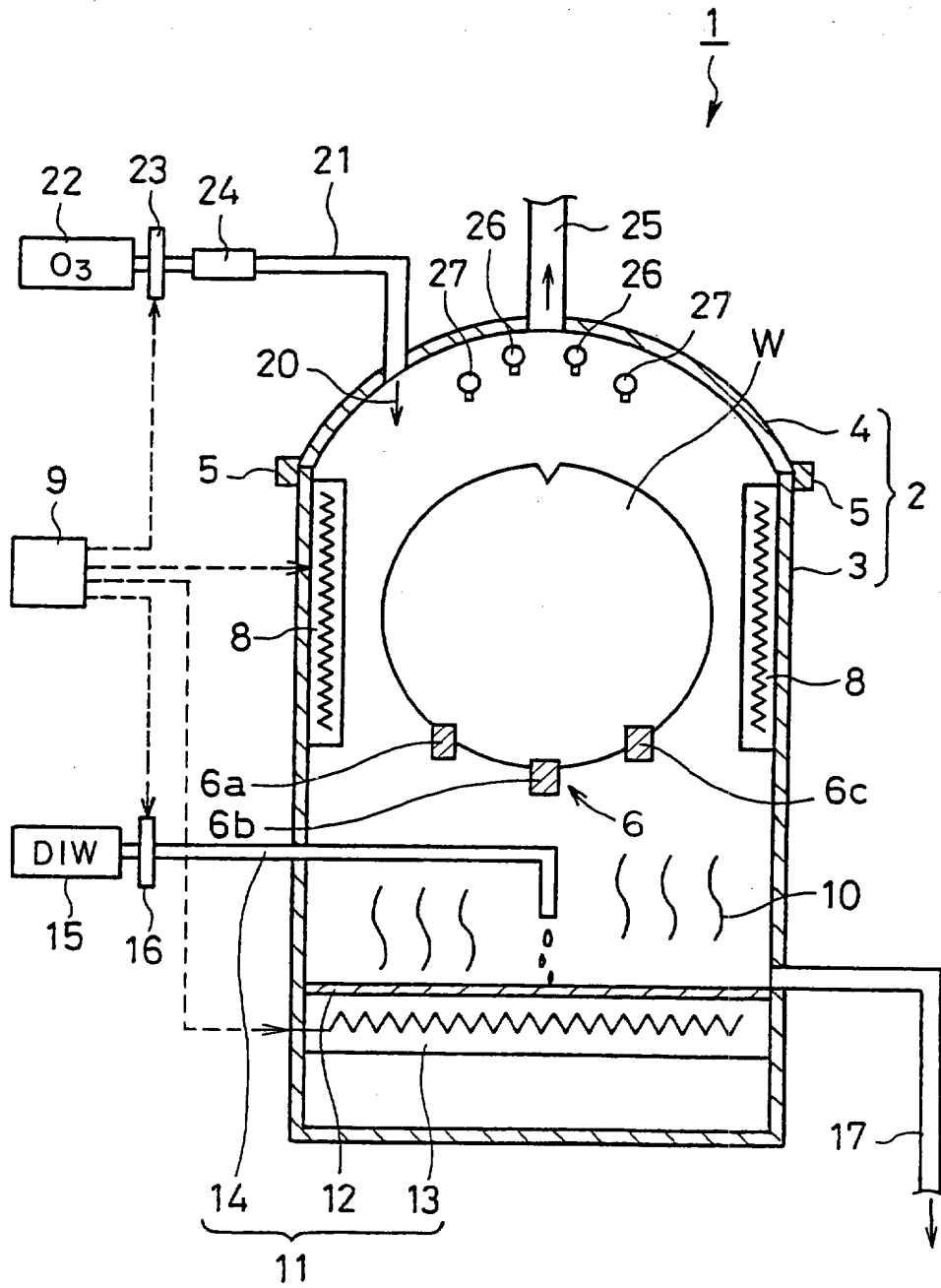


FIG. 1

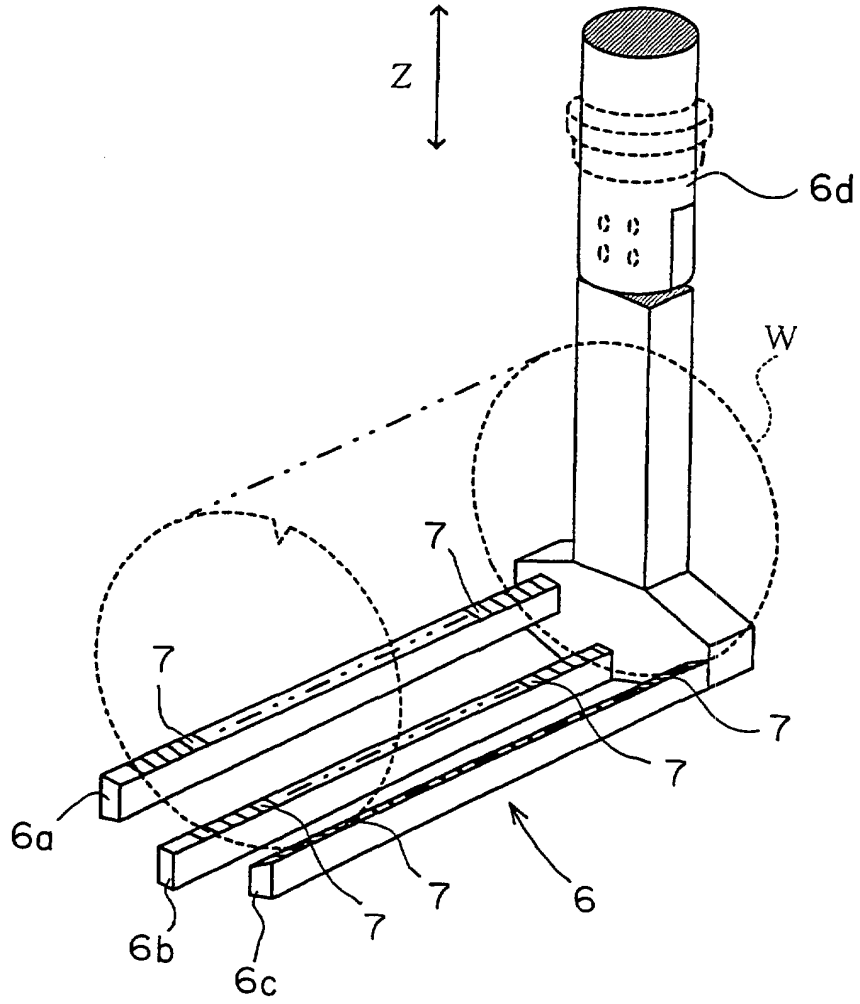


FIG. 2

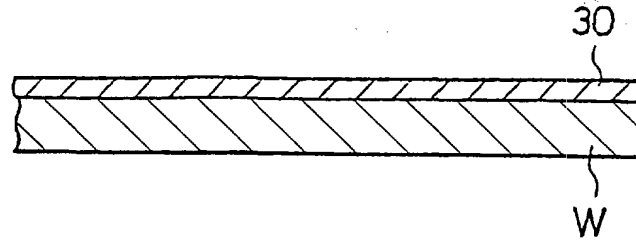


FIG. 3

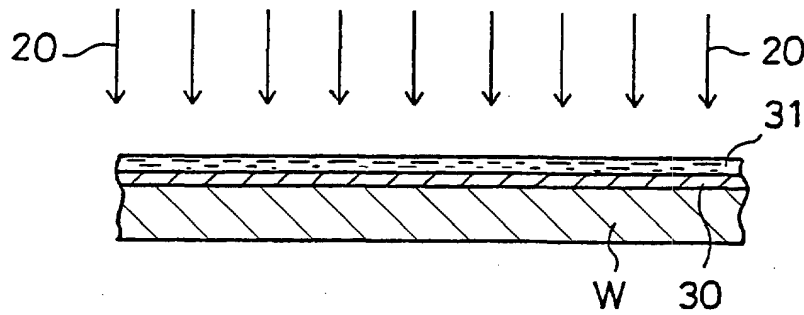


FIG. 4

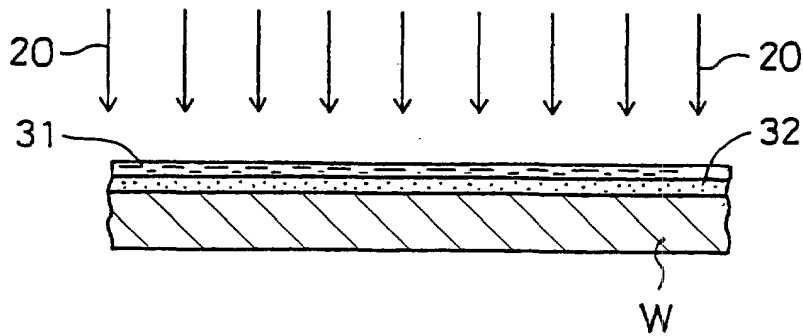


FIG. 5

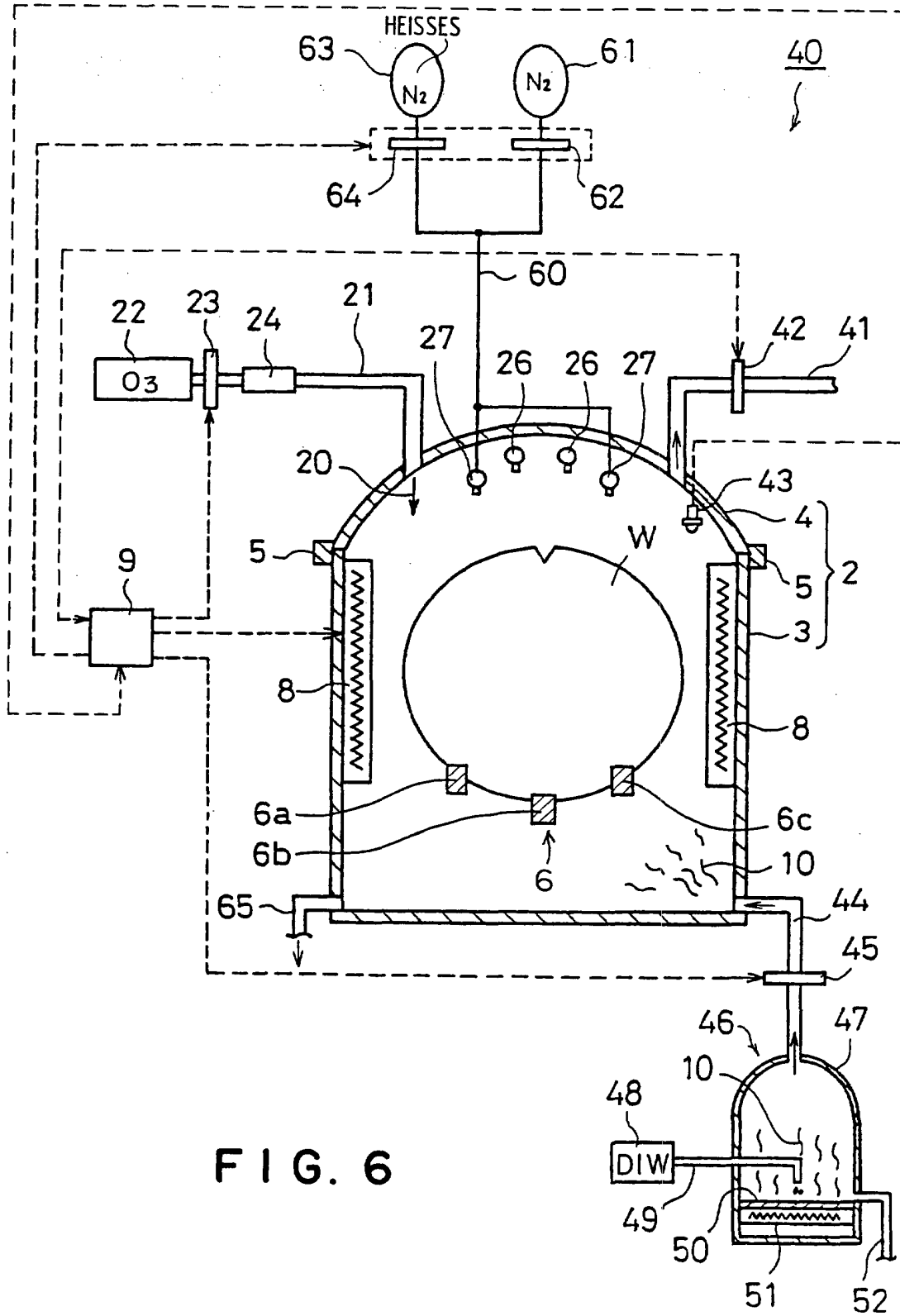


FIG. 6

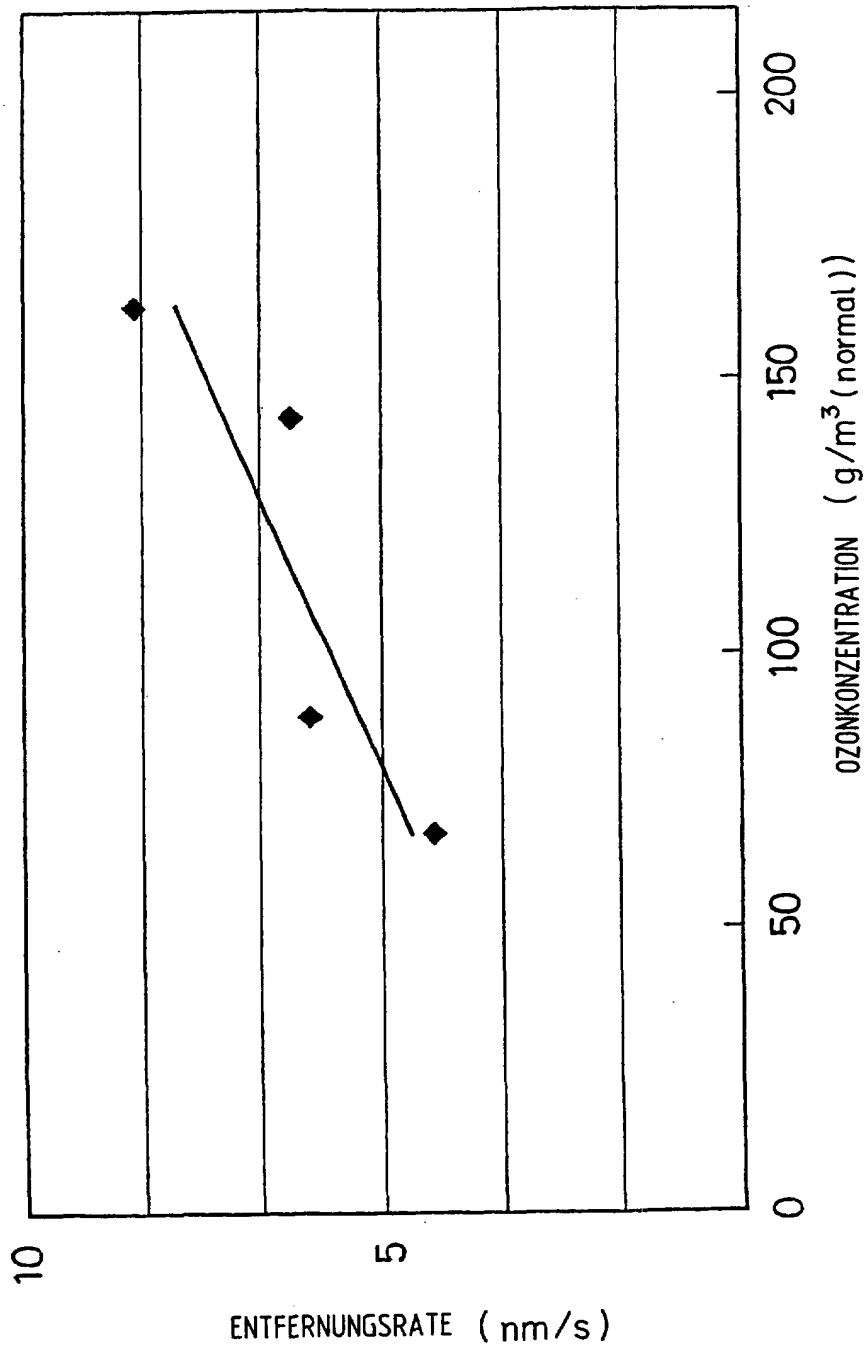


FIG. 7

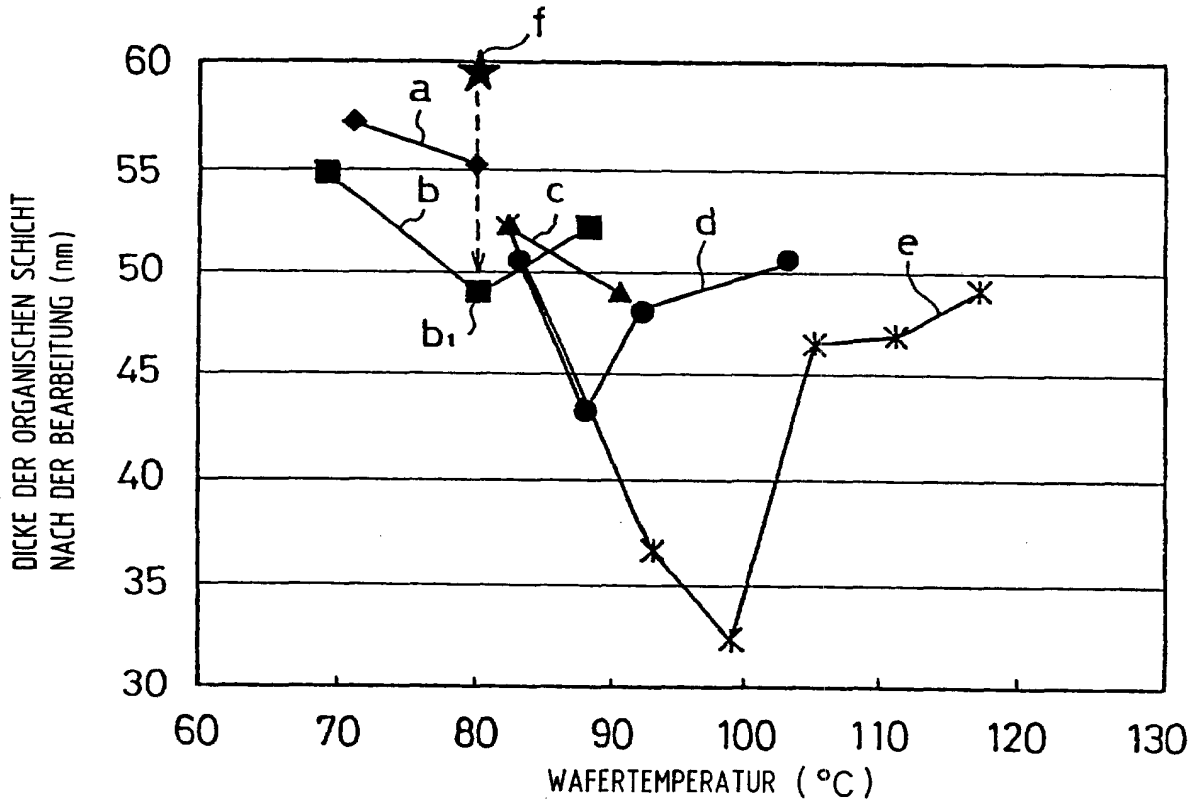


FIG. 8

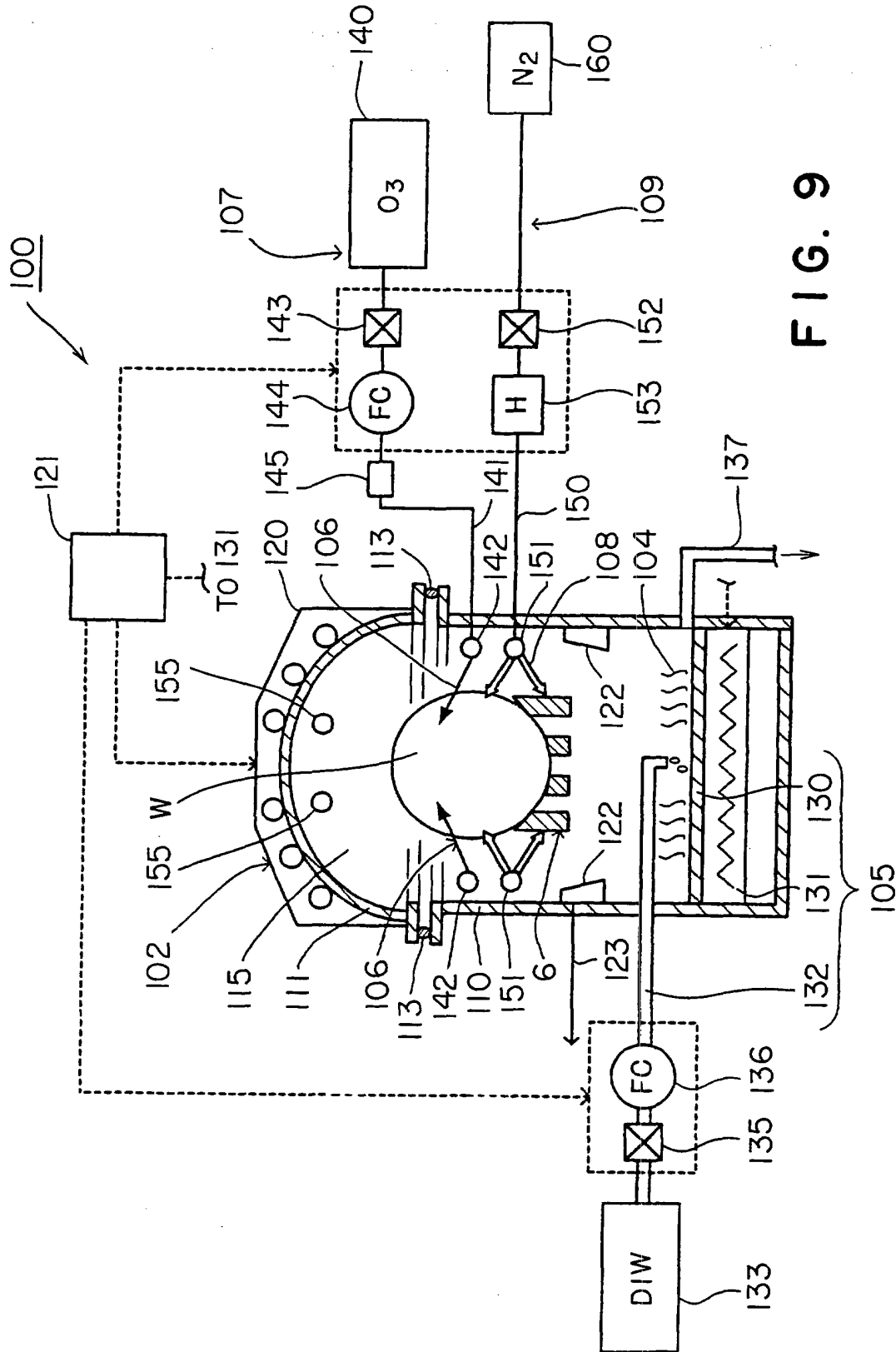


FIG. 9

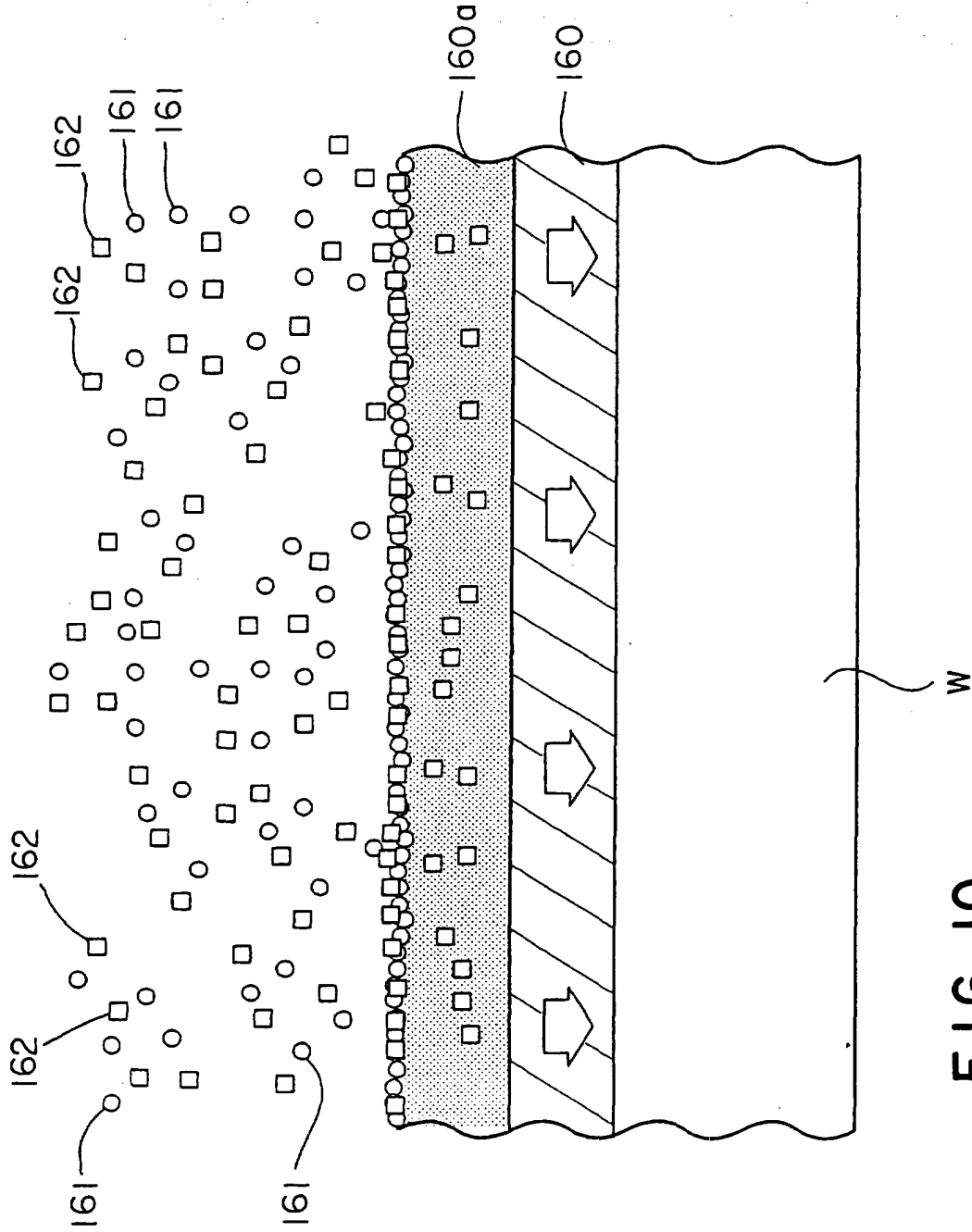


FIG. 10

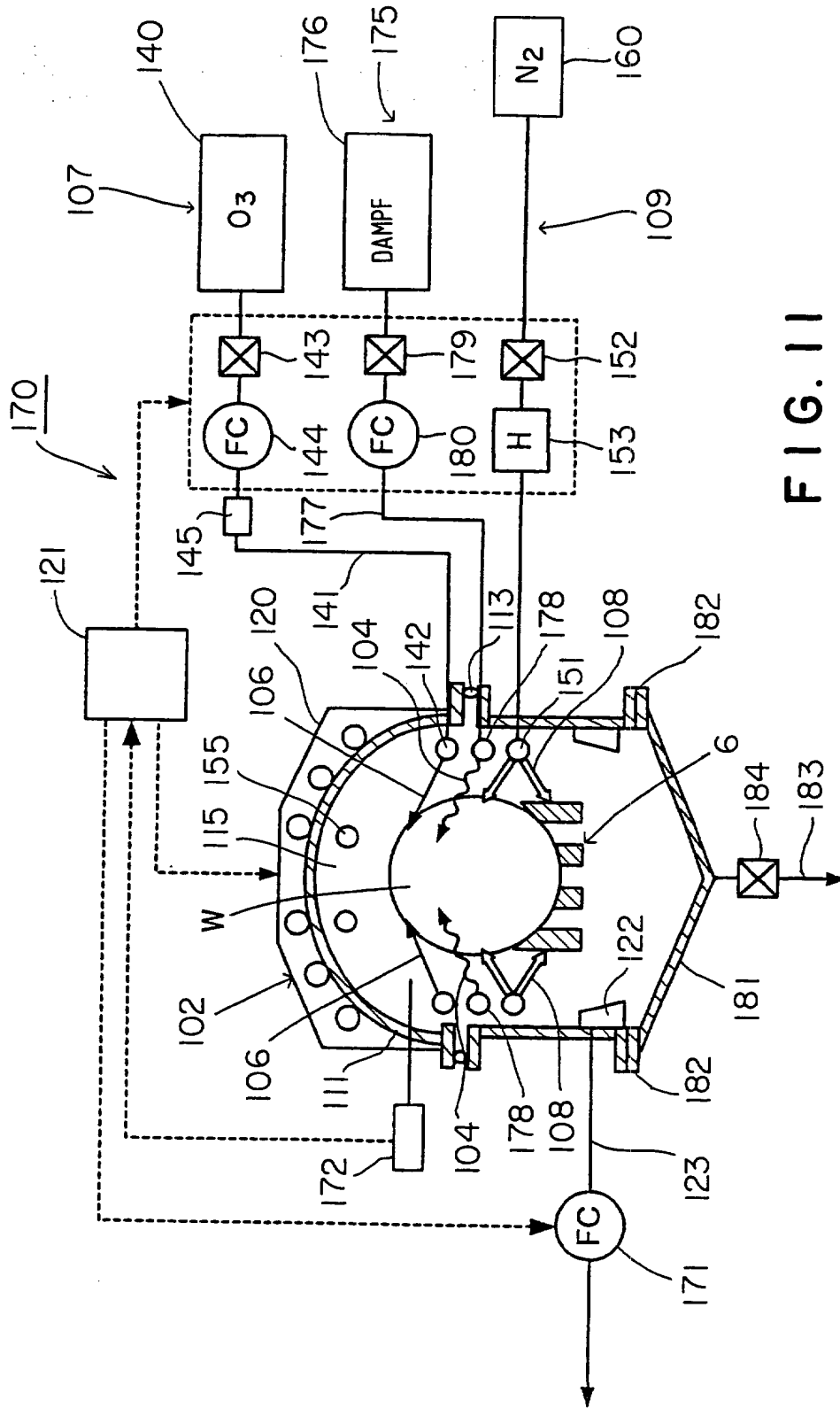


FIG. 11

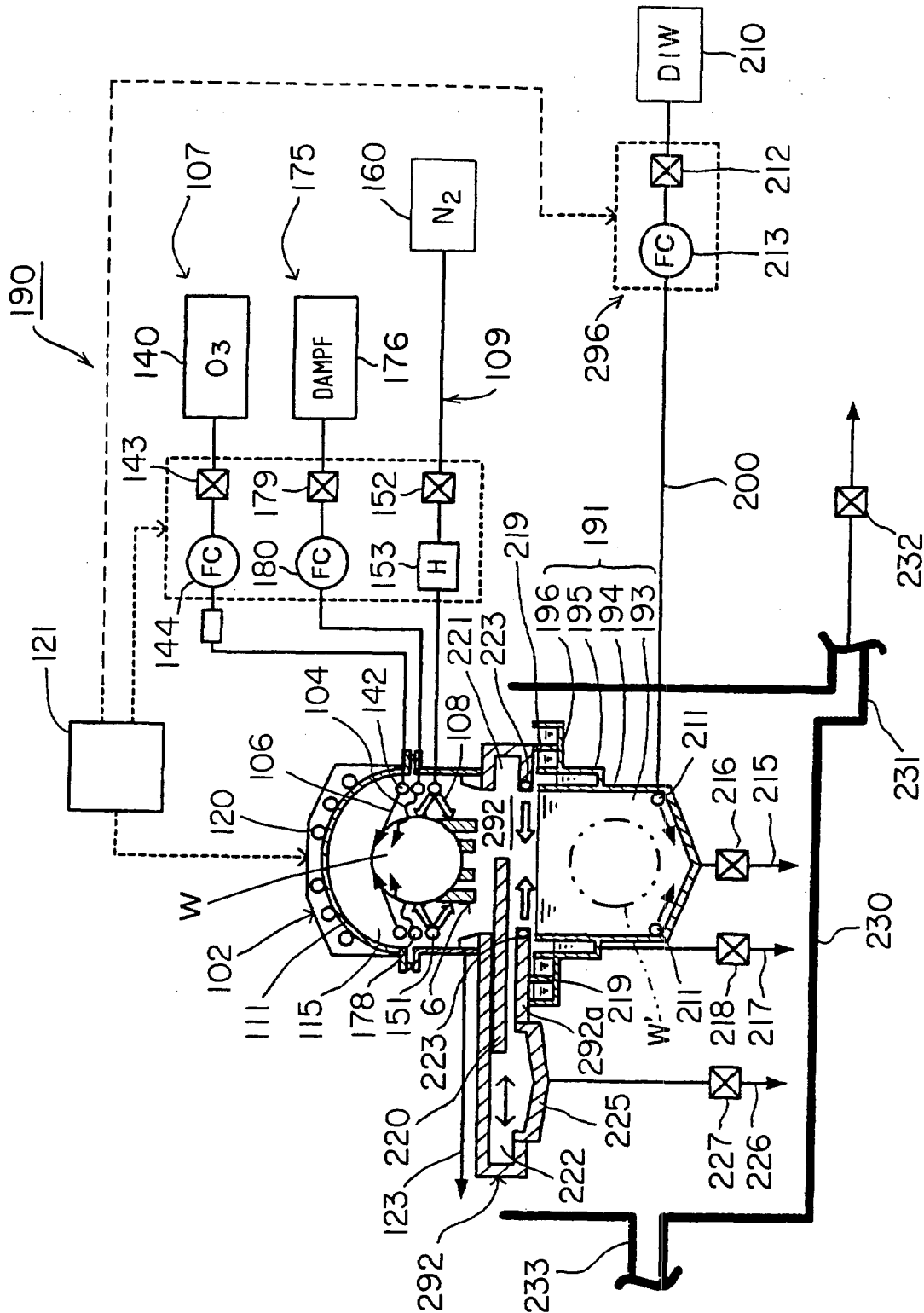


FIG. 12

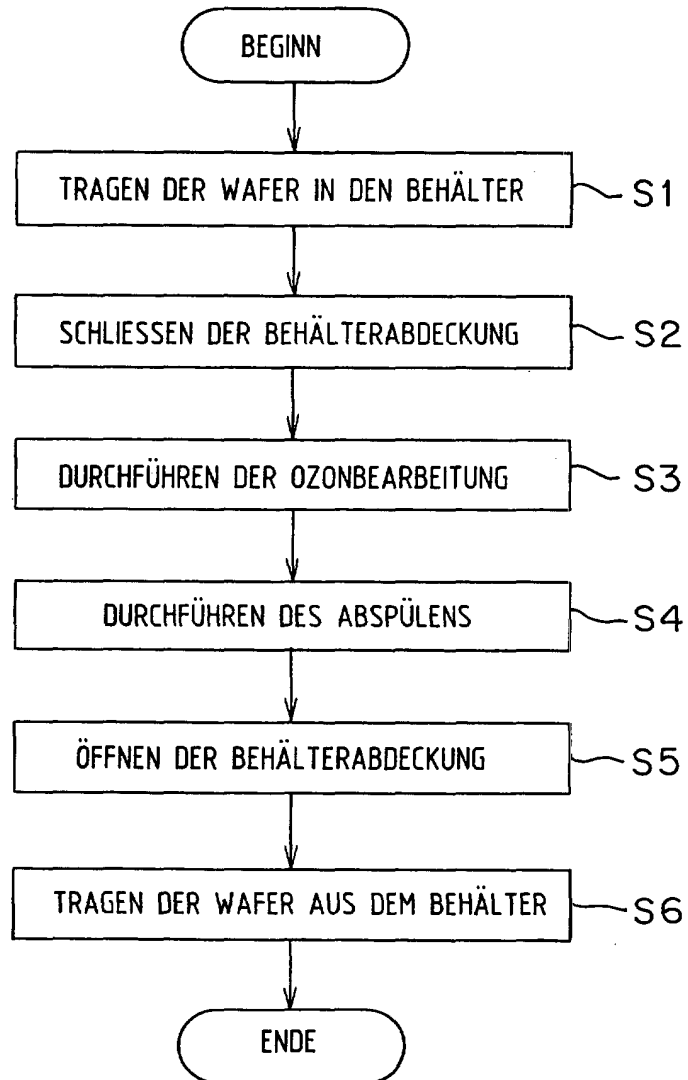


FIG. 13

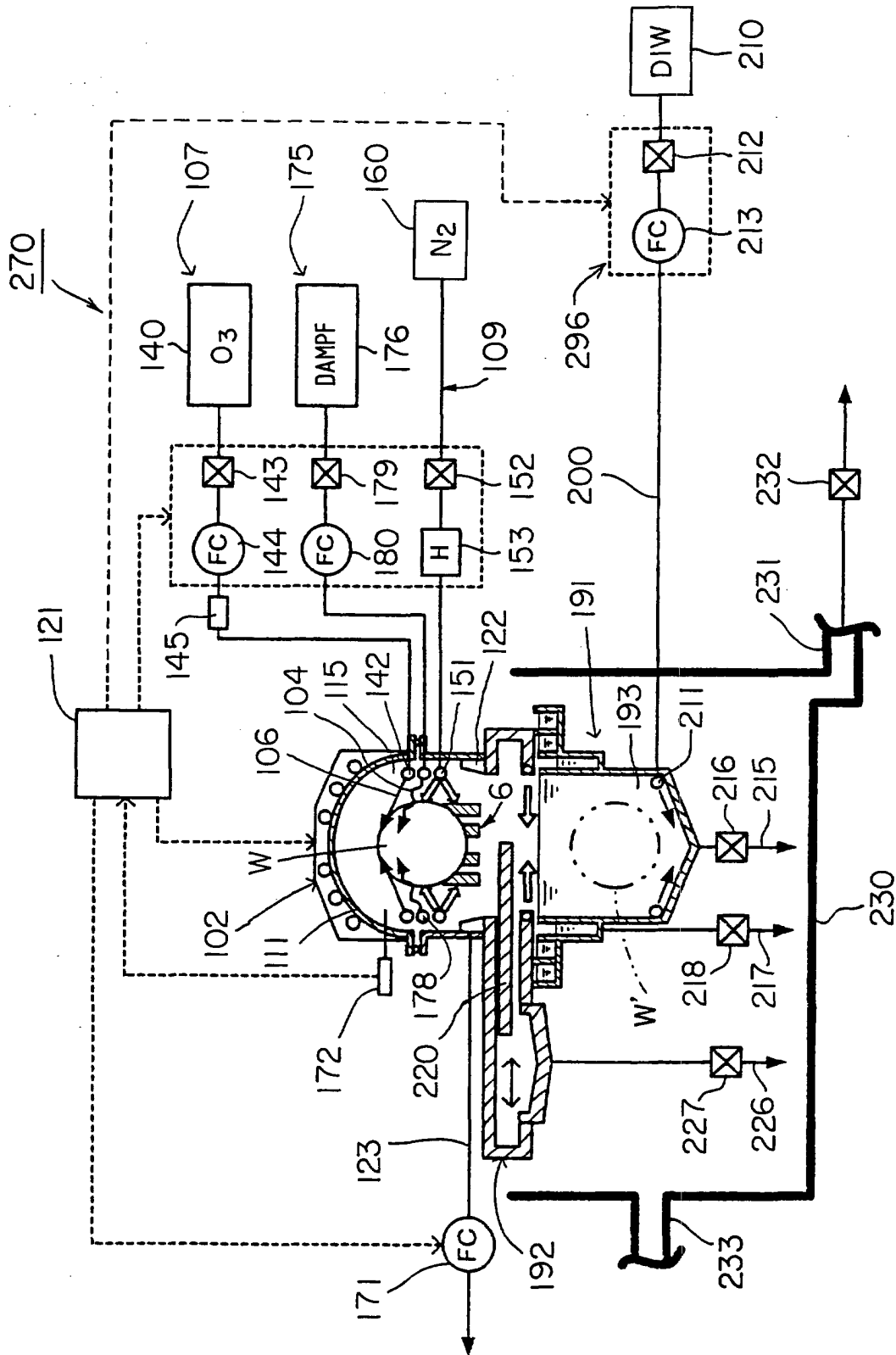


FIG. 14

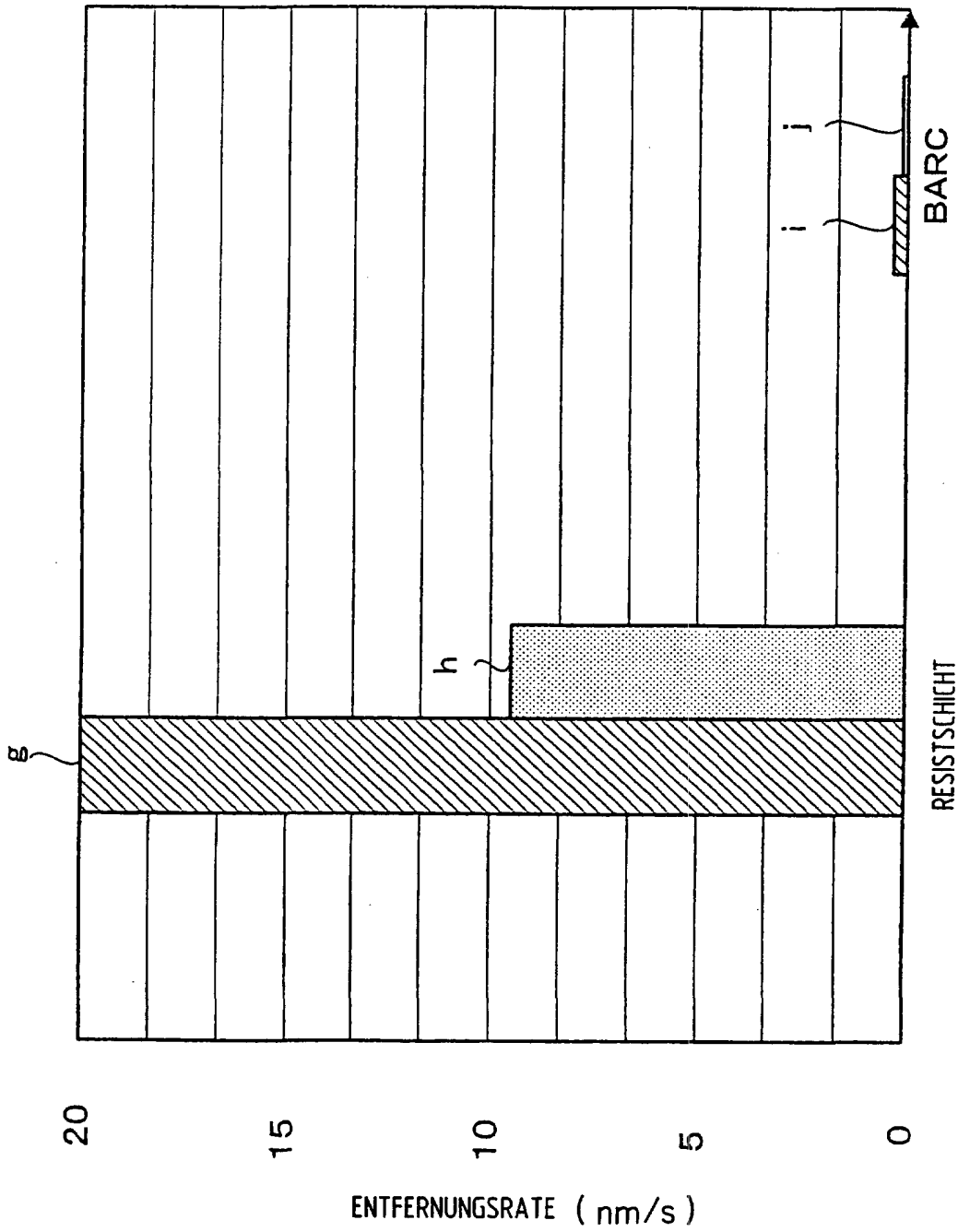


FIG. 15

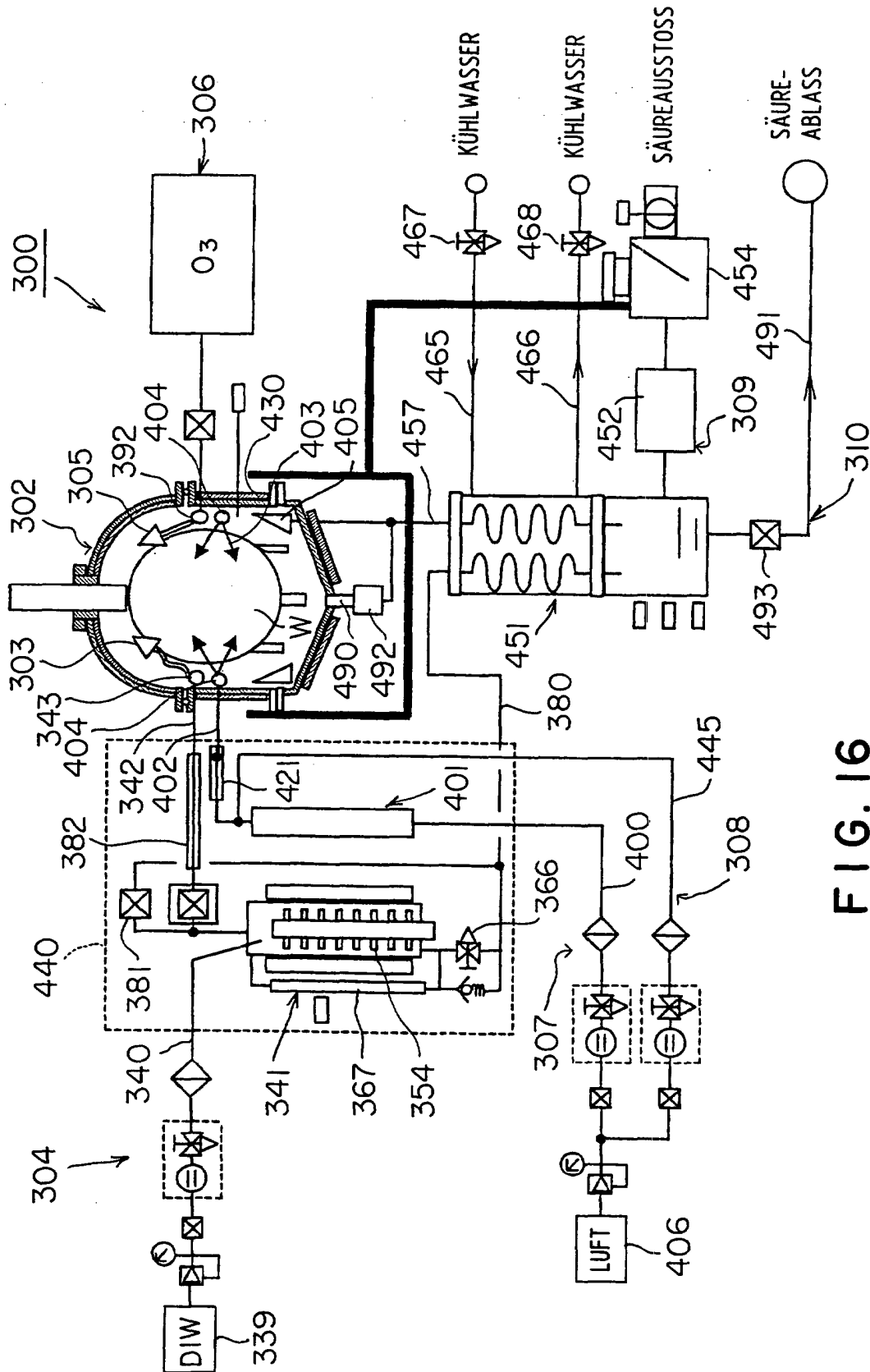


FIG. 16

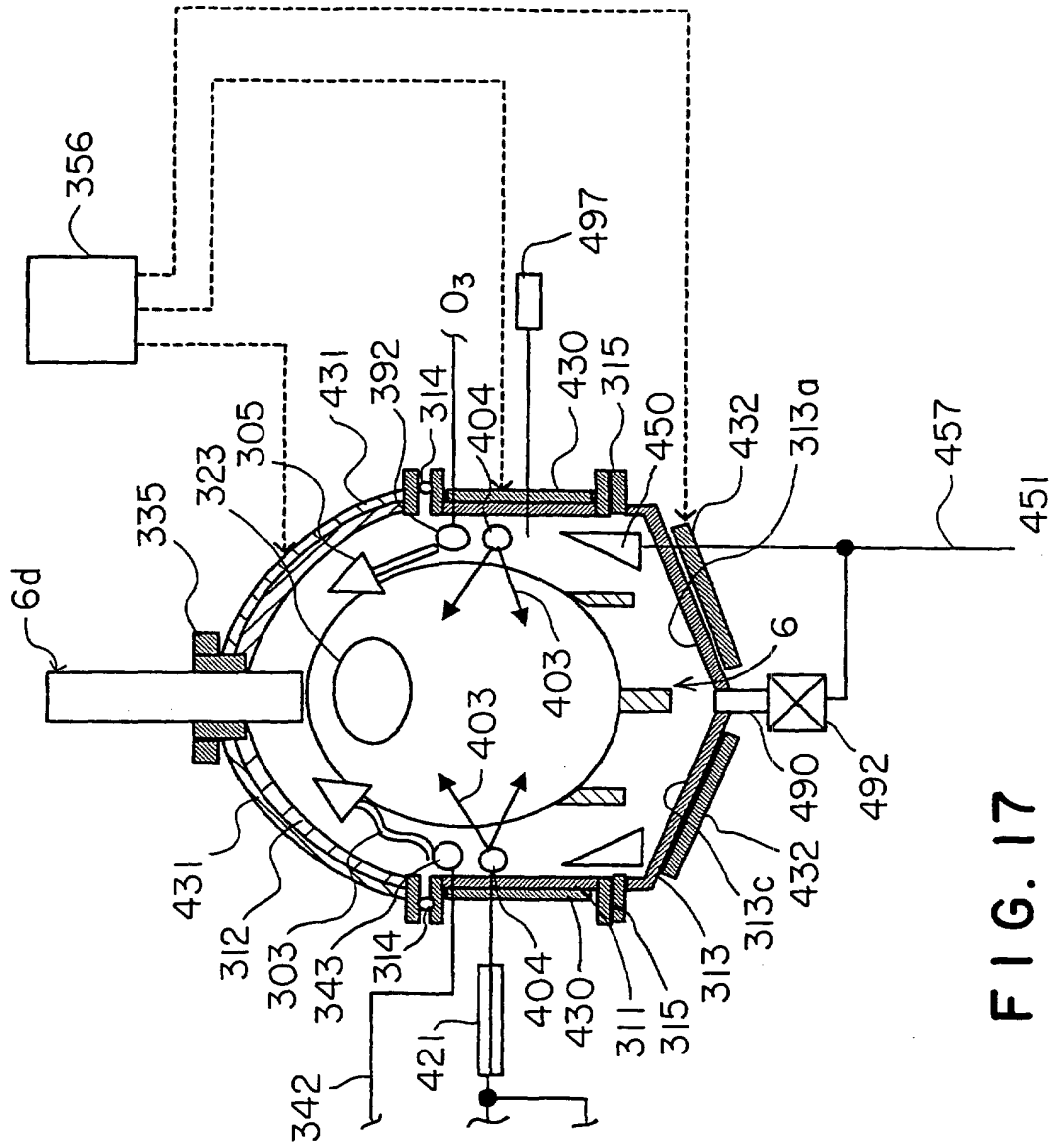


FIG. 17

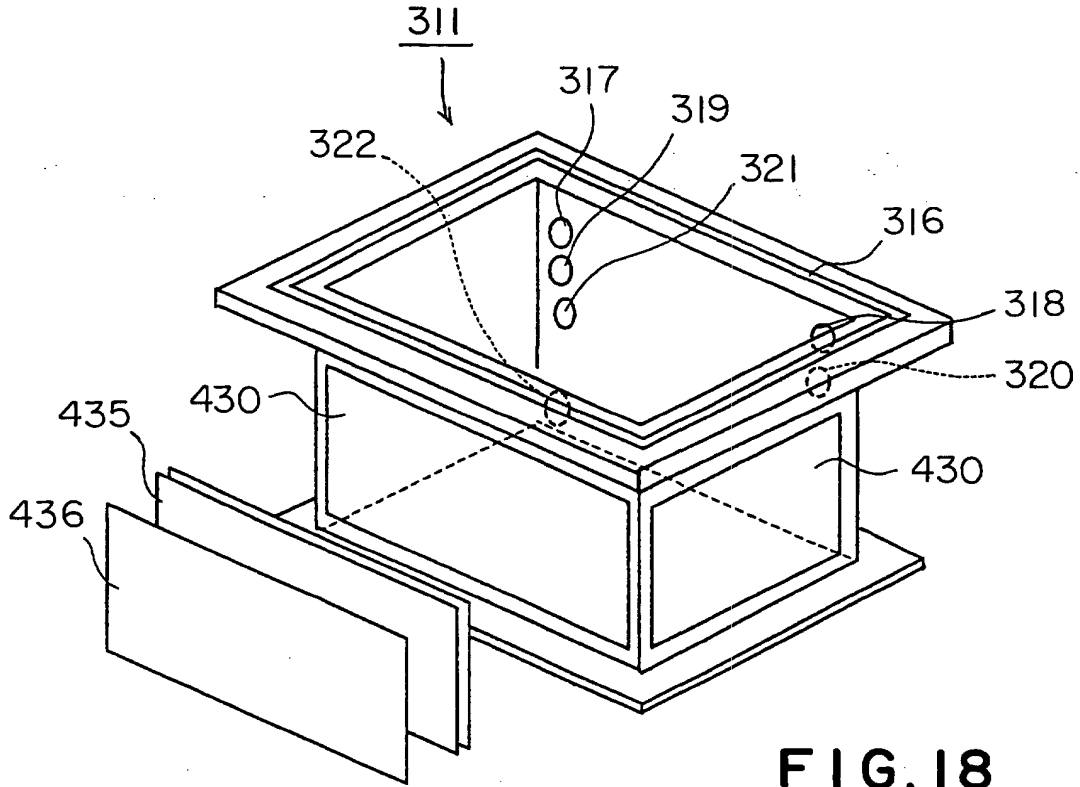


FIG. 18

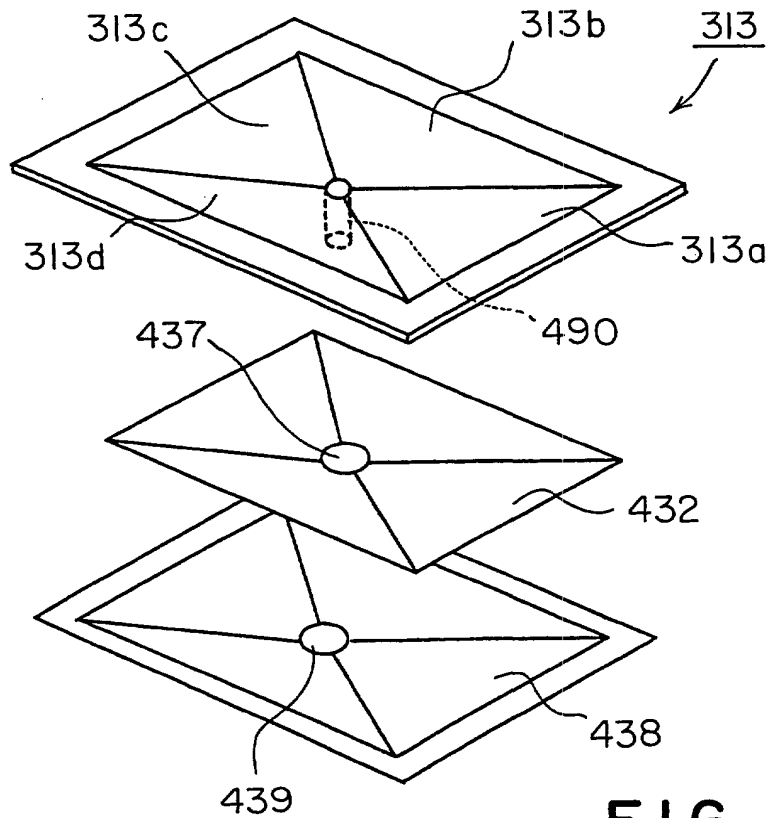


FIG. 19

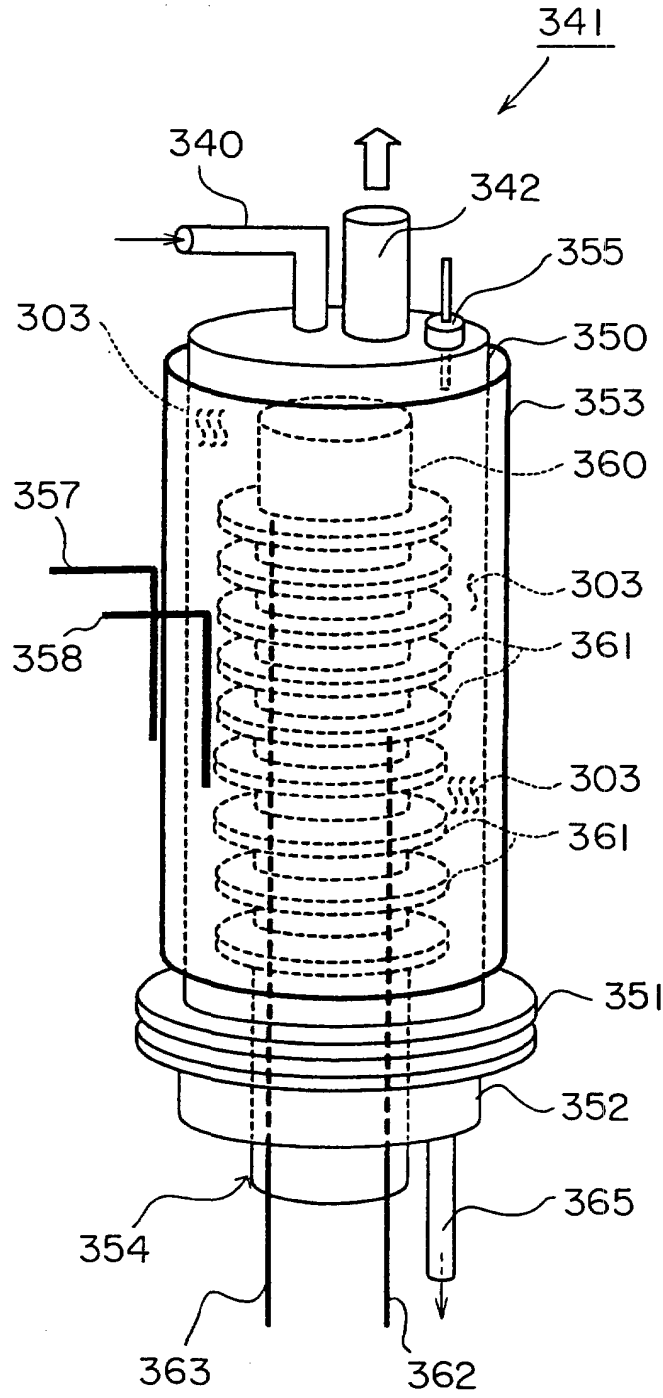


FIG. 21

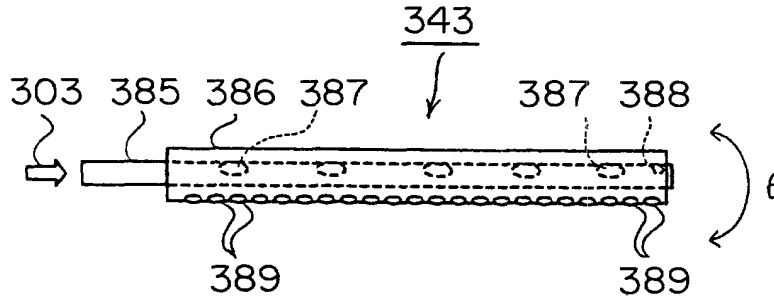


FIG. 22

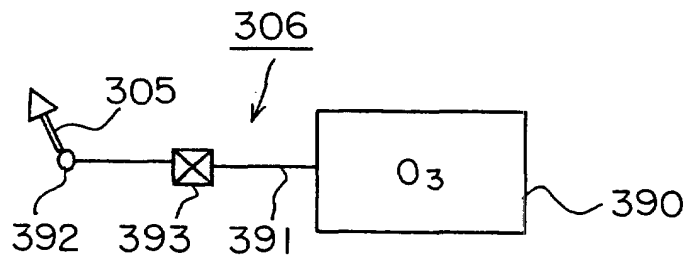


FIG. 23

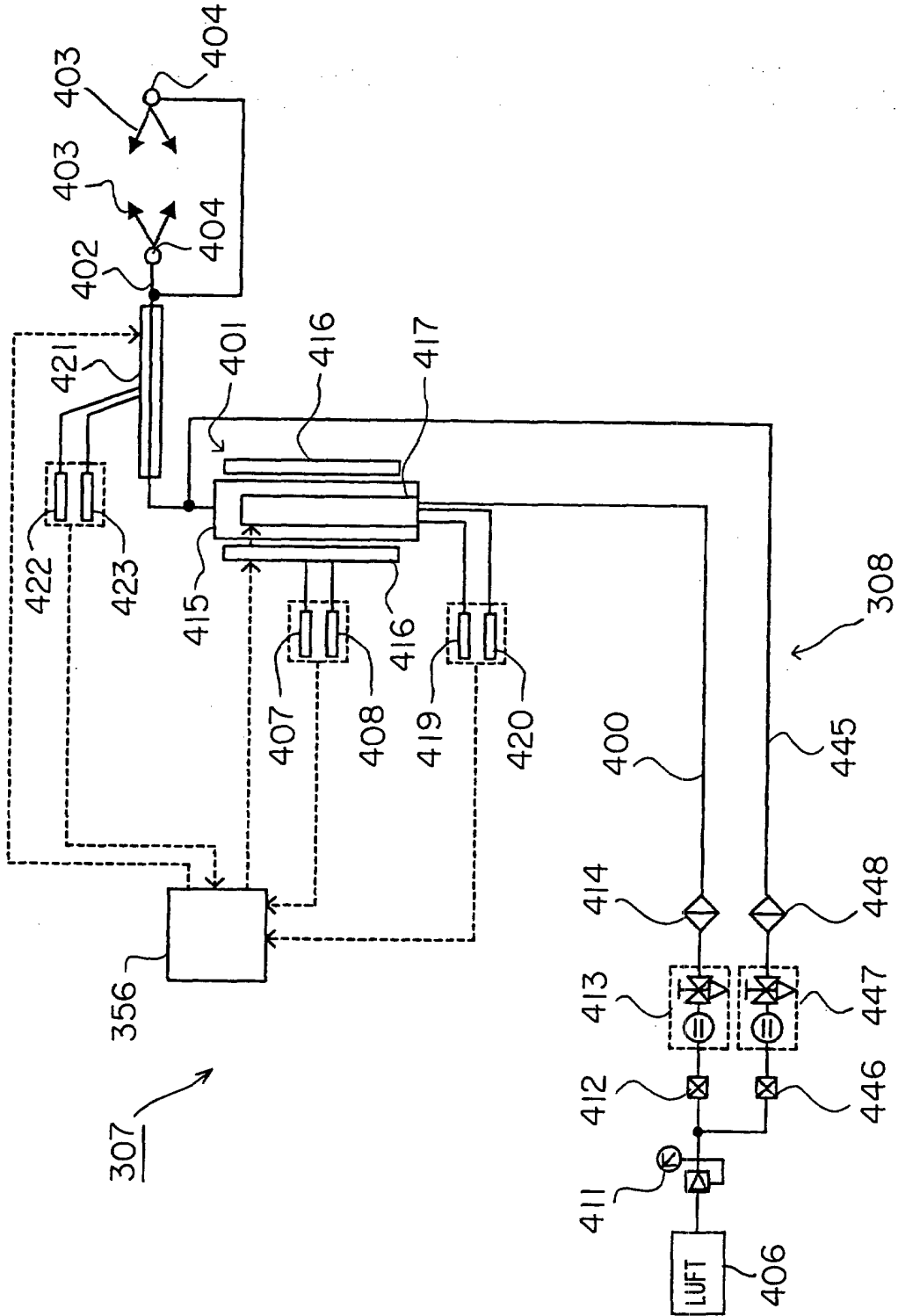


FIG. 24

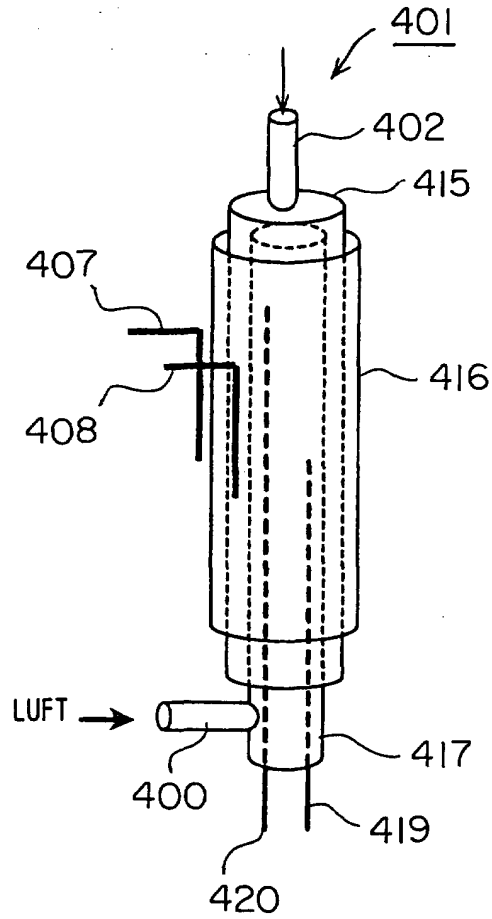


FIG. 25

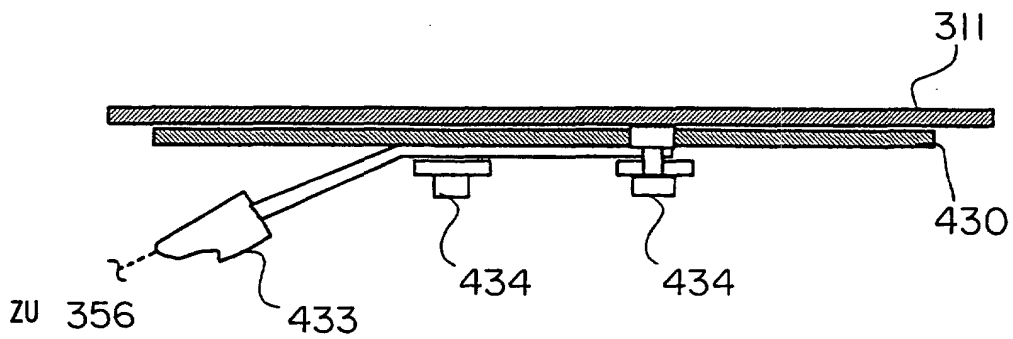


FIG. 26

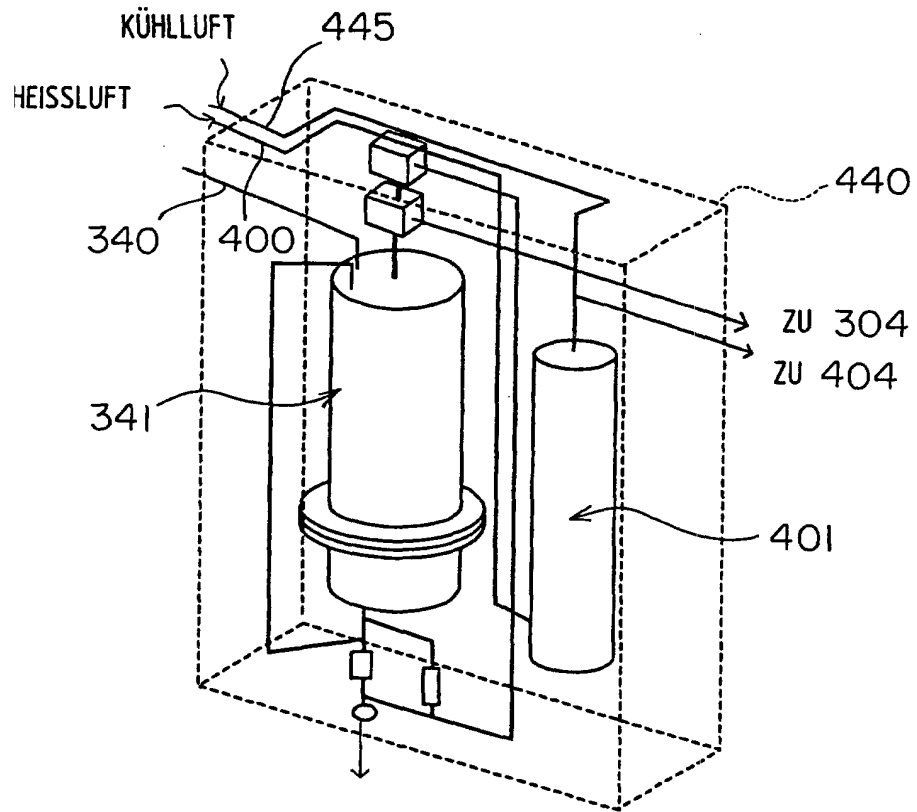


FIG. 27

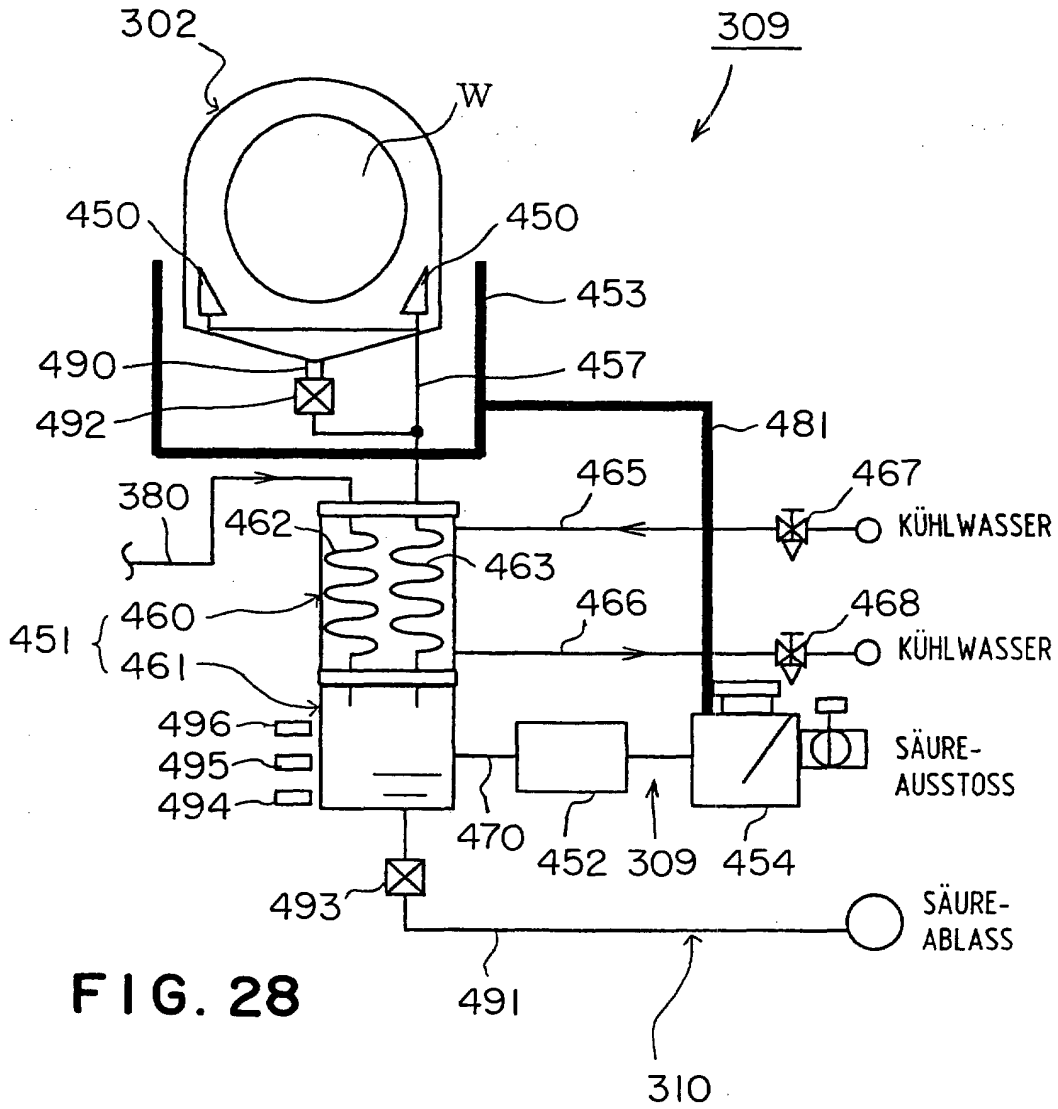


FIG. 28

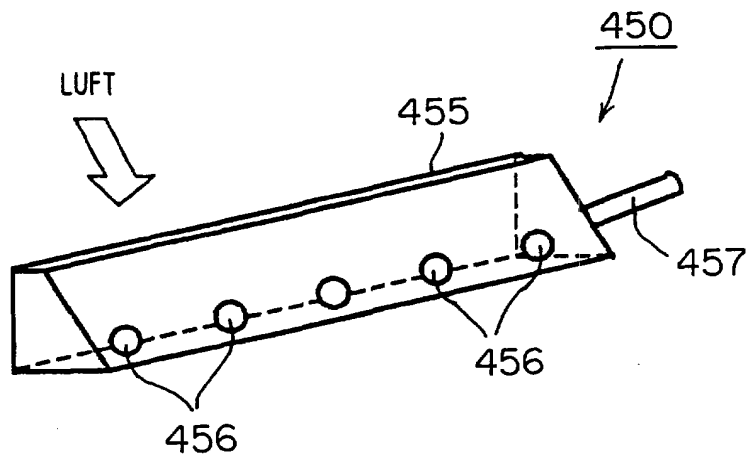


FIG. 29

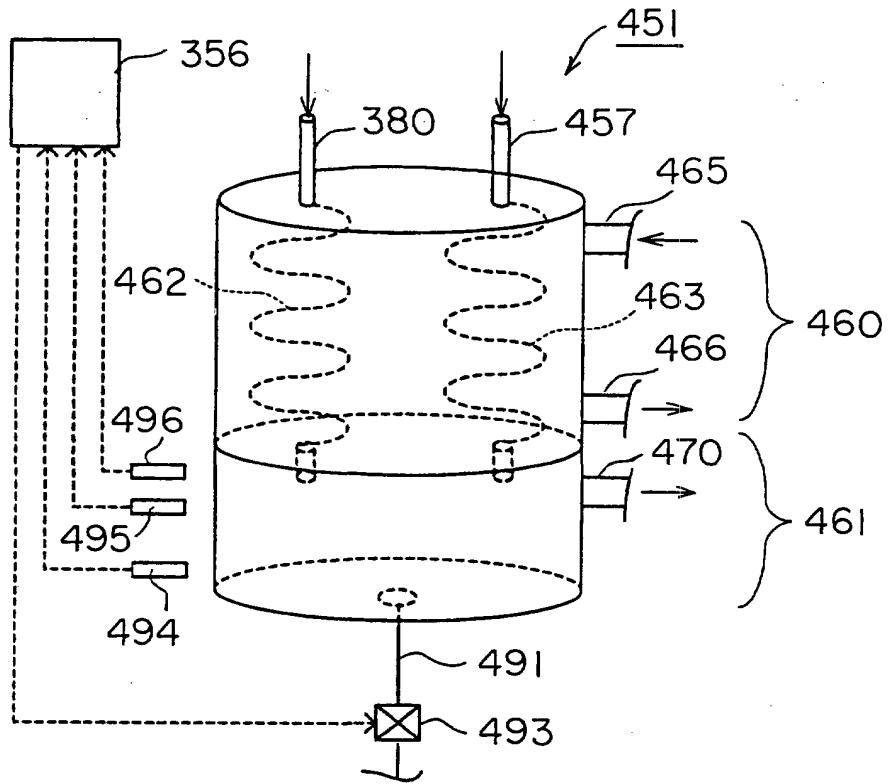


FIG. 30

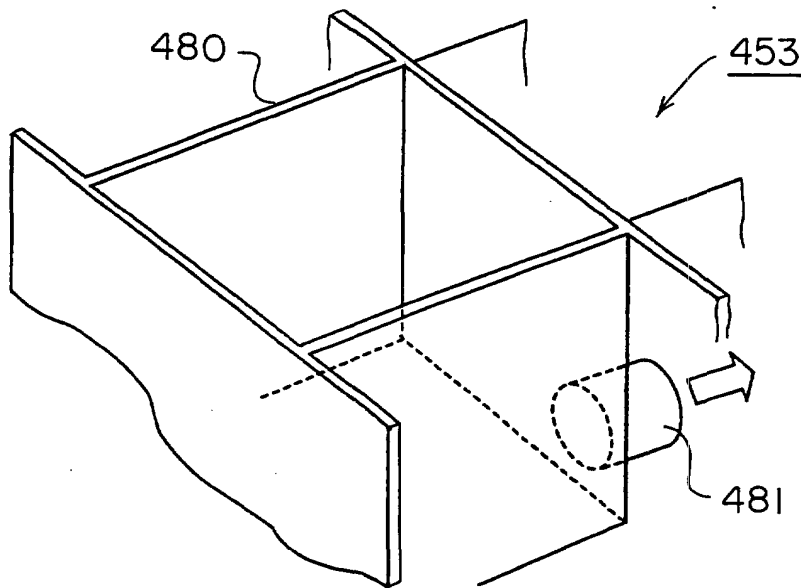


FIG. 31

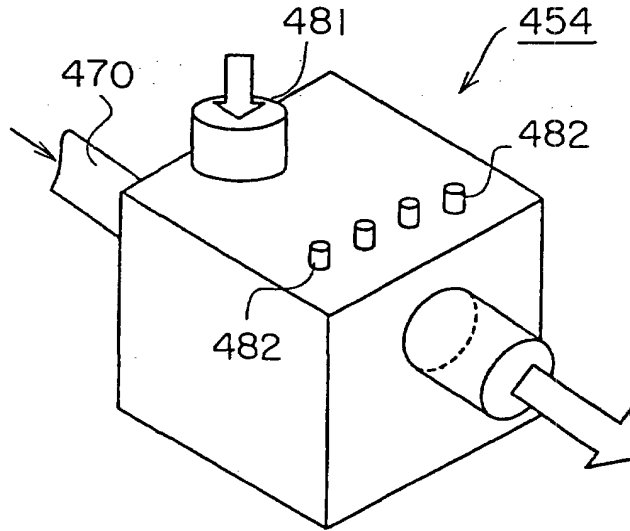


FIG. 32

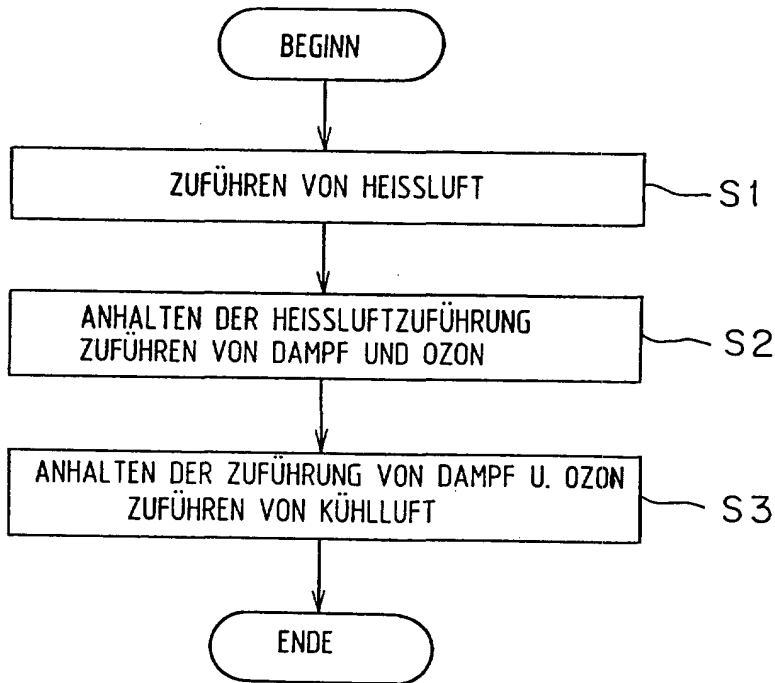


FIG. 33

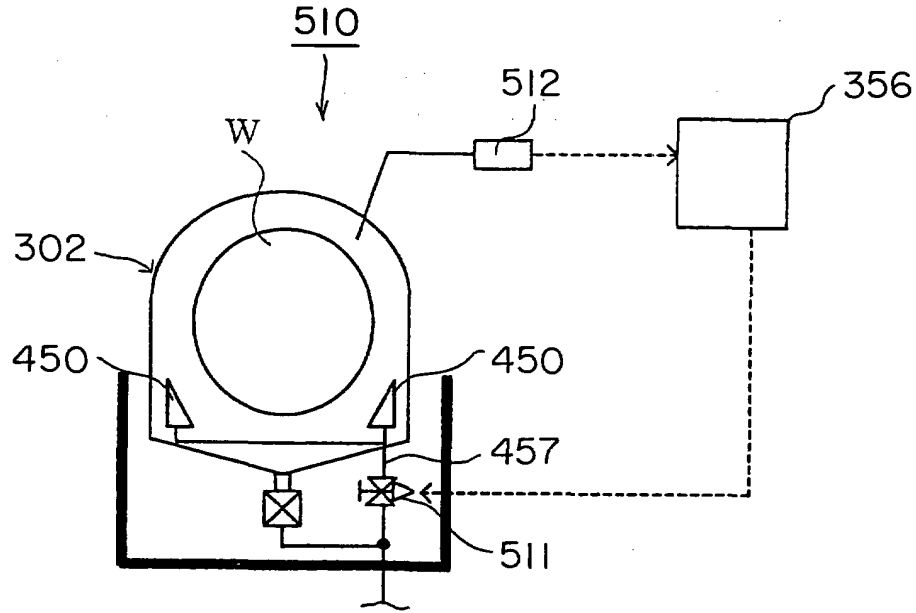


FIG. 34

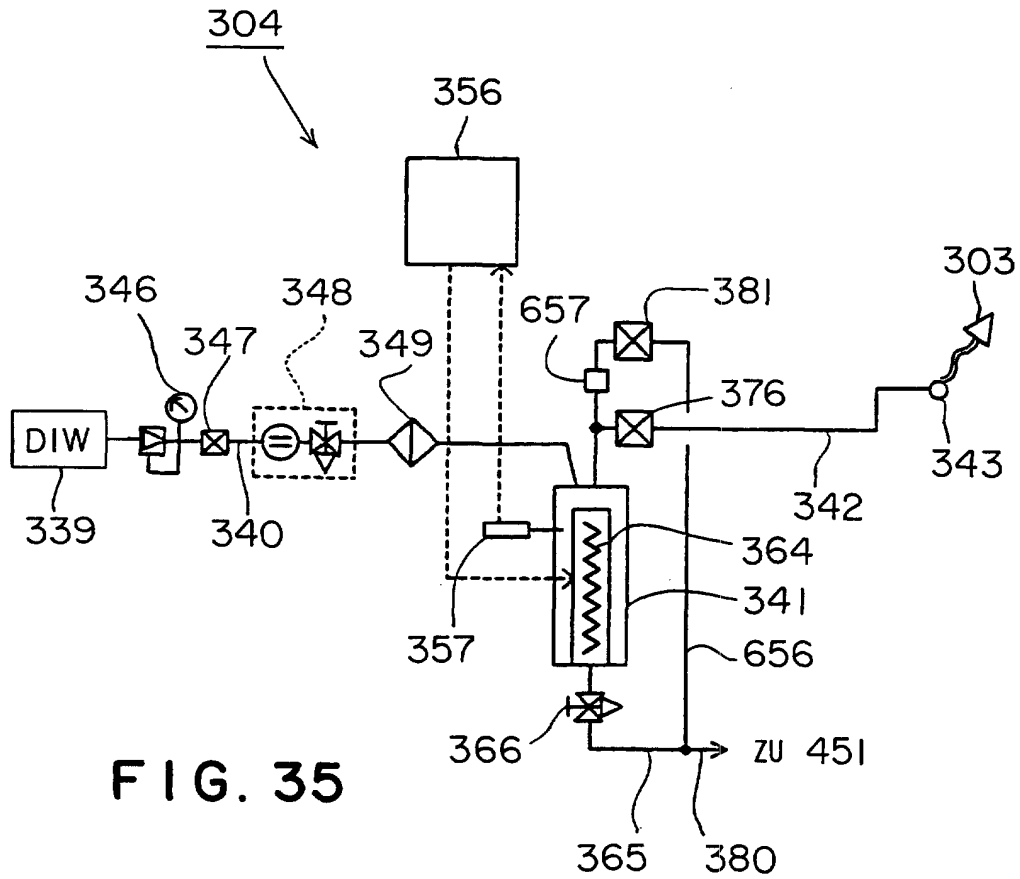


FIG. 35

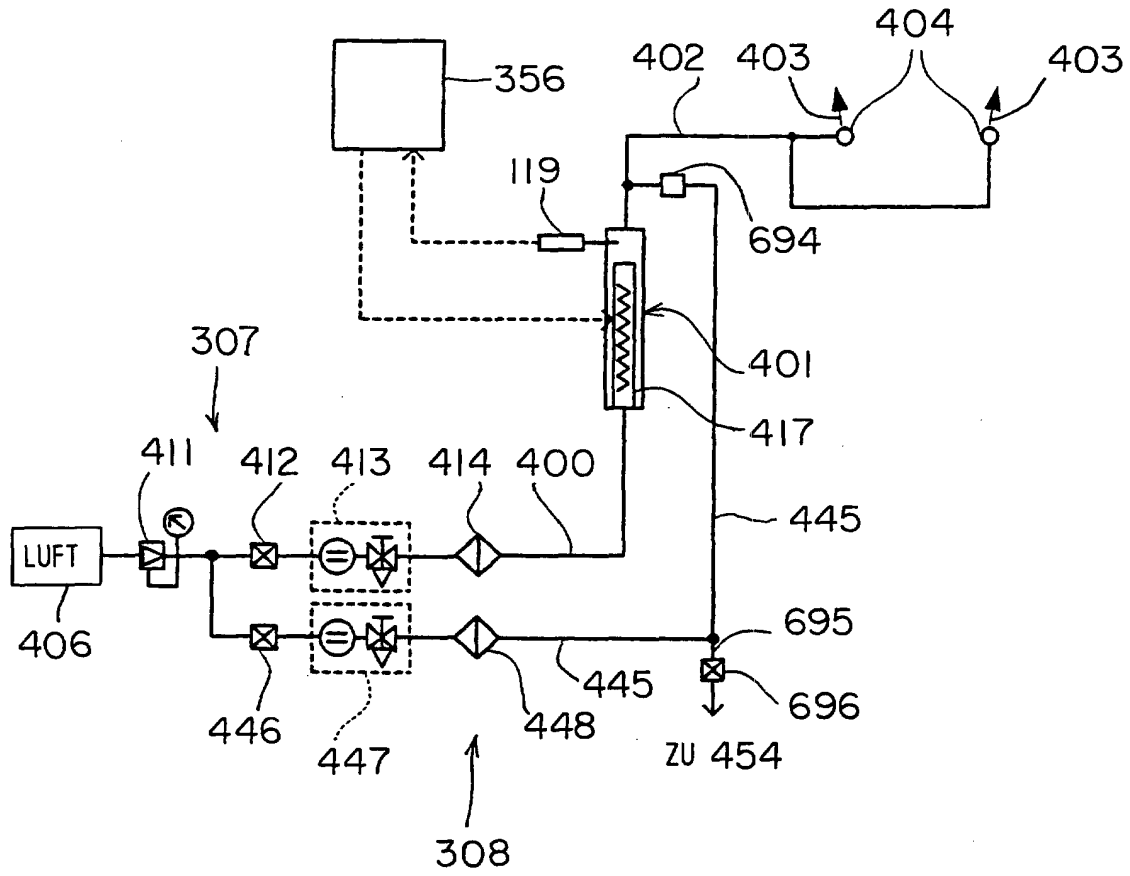


FIG. 36

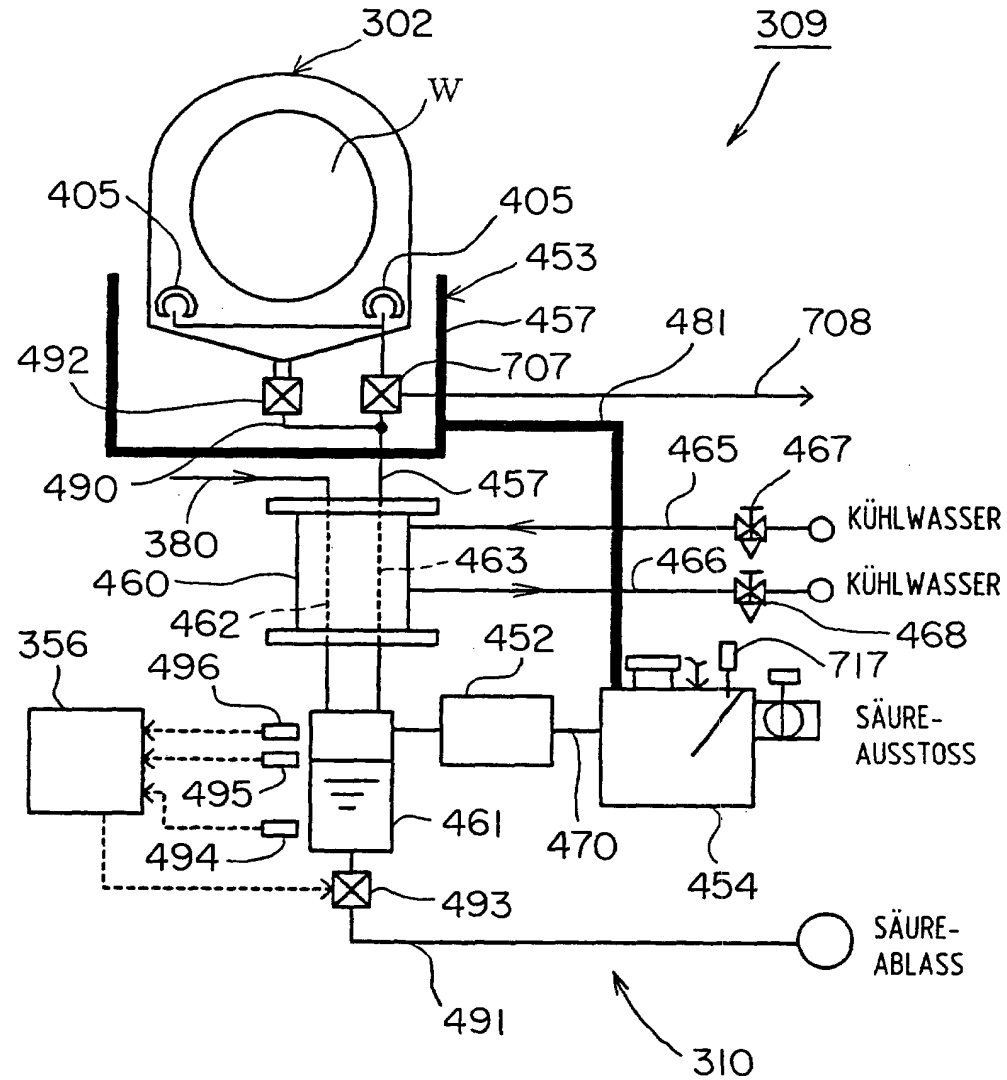


FIG. 37

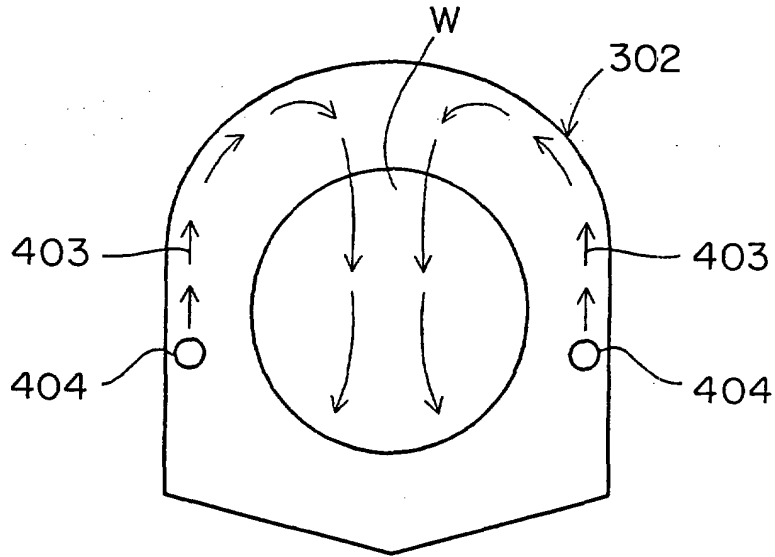


FIG. 38

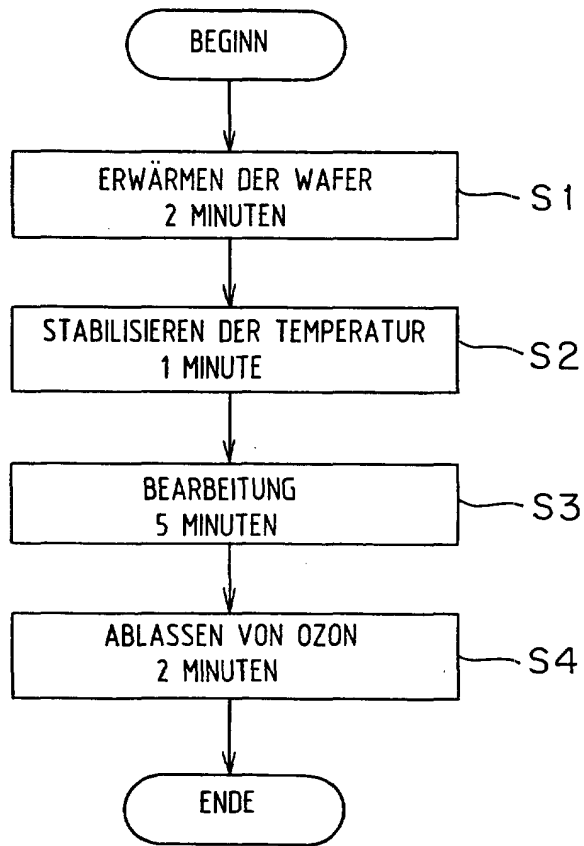


FIG. 39

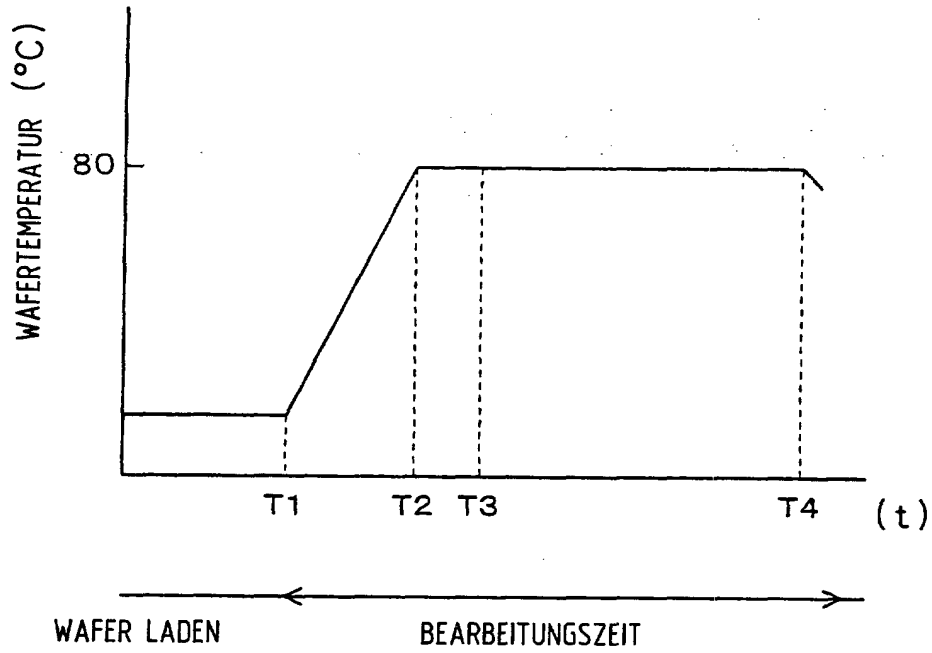


FIG. 40

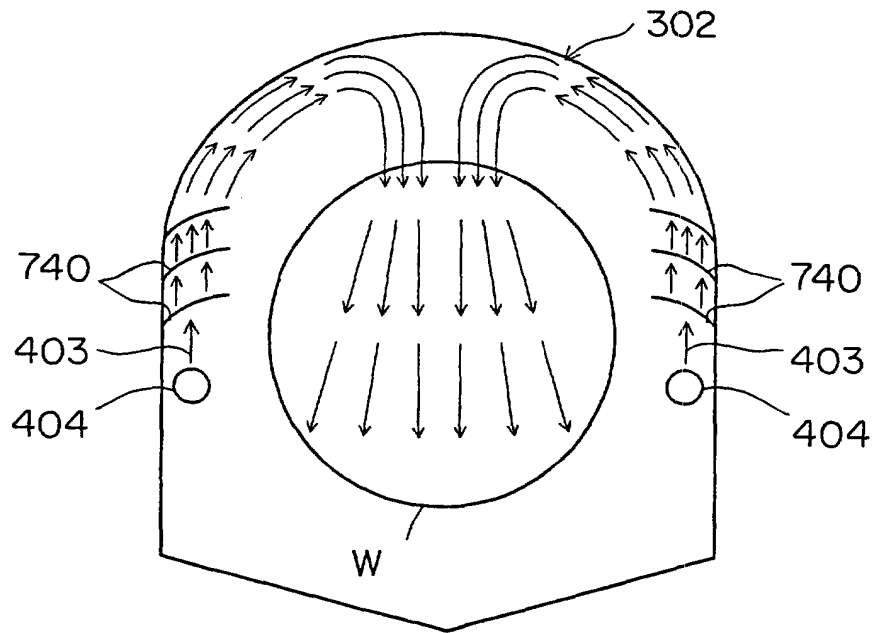


FIG. 41

PUB-NO: DE010036867A1
DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 10036867 A1
TITLE: Method for processing
substrate, e.g.
semiconductor wafer
comprises arranging
substrate in processing
vessel, forming layer of
solvent over surface of
substrate, and dissolving an
operating gas in layer of
solvent
PUBN-DATE: May 3, 2001

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOSHIMA, TAKAYUKI	JP
UENO, KINYA	JP
YAMASAKA, MIYAKO	JP
TSUTSUMI, HIDEYUKI	JP
IINO, TADASHI	JP
KAMIKAWA, YUJI	JP

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOKYO ELECTRON LTD	JP

APPL-NO: DE10036867
APPL-DATE: July 28, 2000

PRIORITY-DATA: JP21667599A (July 30, 1999) ,
JP32386999A (November 15, 1999) ,
JP35480099A (December 14, 1999) ,
JP2000000982A (January 6, 2000) ,
JP2000015816A (January 25, 2000)
JP2000119249A (April 20, 2000)

INT-CL (IPC): B01J019/00 , H01L021/306 ,
G03F007/36

EUR-CL (EPC): G03F007/42 , H01L021/311

ABSTRACT:

CHG DATE=20020103 STATUS=N>Method for processing a substrate comprises arranging a substrate in a processing vessel (2); forming a layer of solvent over a surface of the substrate; and dissolving an operating gas in the layer of solvent. Independent claims are also included for alternative methods for processing a substrate. Preferred Features: The process further comprises producing a vapor of solvent inside and outside of the processing vessel; blowing out the surroundings in the processing vessel before arranging the substrate in the processing vessel; and introducing a hot gas in the processing vessel to suit the temperature of the substrate whilst the surrounding is blown out in the processing vessel. The solvent is water and the operating gas is ozone.